



Identifier les contraintes pour la conservation des dernières girafes de l'Afrique de l'Ouest : déterminants de la dynamique de la population et patron d'occupation spatiale

Jean-Patrick Suraud

► To cite this version:

Jean-Patrick Suraud. Identifier les contraintes pour la conservation des dernières girafes de l'Afrique de l'Ouest : déterminants de la dynamique de la population et patron d'occupation spatiale. Biologie animale. Université Claude Bernard - Lyon I, 2011. Français. NNT : 2011LYO10339 . tel-01225652

HAL Id: tel-01225652

<https://theses.hal.science/tel-01225652>

Submitted on 6 Nov 2015

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

THESE

Présentée devant L'UNIVERSITE CLAUDE BERNARD - LYON 1

Pour l'obtention du

DIPLOME DE DOCTORAT

(arrêté du 7 août 2006)

Spécialité : Ecologie

Présentée et soutenue publiquement le 16 décembre 2011

par

Jean-Patrick SURAUD

Identifier les contraintes pour la conservation des dernières girafes de l'Afrique de l'Ouest : Déterminants de la dynamique de la population et patron d'occupation spatiale

JURY

M. Hervé FRITZ	Directeur de thèse
M. Jean-Michel GAILLARD	Co-directeur
M. Denis REALE	Rapporteur
M. Daniel MAILLARD	Rapporteur
M. Dominique ALLAINE	Examineur
Mme. Marie-Noël DEVISSCHER	Examineur

UMR 5558
Laboratoire de Biométrie et Biologie Evolutive
Université Claude Bernard Lyon I- Bâtiment Gregor Mendel
43, Boulevard du 11 novembre 1918
69622 Villeurbanne Cedex

THESE

Présentée devant L'UNIVERSITE CLAUDE BERNARD - LYON 1

Pour l'obtention du

DIPLOME DE DOCTORAT

(arrêté du 7 août 2006)

Spécialité : Ecologie

Présentée et soutenue publiquement le 16 décembre 2011

par

Jean-Patrick SURAUD

Identifier les contraintes pour la conservation des dernières girafes de l'Afrique de l'Ouest : Déterminants de la dynamique de la population et patron d'occupation spatiale

JURY

M. Hervé FRITZ	Directeur de thèse
M. Jean-Michel GAILLARD	Co-directeur
M. Denis REALE	Rapporteur
M. Daniel MAILLARD	Rapporteur
M. Dominique ALLAINE	Examineur
Mme. Marie-Noël DEVISSCHER	Examineur

UMR 5558
Laboratoire de Biométrie et Biologie Evolutive
Université Claude Bernard Lyon I- Bâtiment Gregor Mendel
43, Boulevard du 11 novembre 1918
69622 Villeurbanne Cedex

Remerciements

Je suis heureux que les articles scientifiques puissent être signés par plusieurs co-auteurs car la recherche est toujours le fruit de collaboration entre de nombreuses personnes. Une thèse, bien qu'elle soit un travail personnel, se nourrit d'une multitude de rencontres, d'échanges, de réflexion. Je voudrais ici remercier certaines personnes qui ont activement contribué à la réussite de ce travail.

En premier lieu, je voudrais remercier ma famille, en particulier mes parents qui m'ont toujours encouragé à suivre mes rêves quels qu'ils soient, et même celui un peu fou de faire 8 ans d'études pour au final avoir un diplôme qui n'aboutit pas toujours sur un travail. Je voudrais rendre leur hommage pour leur courage et leur sacrifice de voir leur unique fils partir à l'autre bout du monde régulièrement pour assouvir sa passion.

Faire une thèse est un challenge pour celui qui se lance dans cette aventure, mais cela représente aussi souvent des contraintes importantes pour la compagne (ou le compagnon) du thésard. Je te remercie mon Ange de m'avoir accompagné, soutenu et partagé les épreuves liées à cette thèse.

Pour être franc, au sortir de mon Master je n'avais pas l'intention de faire une thèse. J'ai d'ailleurs travaillé plusieurs années après celui-ci avant que Julian Fennessy, « Mr giraffe », me suggère de faire une thèse. Il m'a accompagné, poussé, et toujours soutenu y compris dans les moments difficiles. Les centaines de mails échangés, et les rencontres plus ou moins copieusement agrémentées de bière fraîche ont été essentiels à l'aboutissement de ce travail.

Sur les 4 ans qui ont été nécessaires pour réaliser cette thèse, 3 se sont déroulés au Niger. Je remercie du fond du cœur les nigériens de m'avoir accueilli, et permis de réaliser ce travail qui je l'espère contribue à une meilleure connaissance et conservation des girafes.

Parmi les nigériens dont le soutien a été crucial, je souhaite remercier les autorités gouvernementales, en particulier le Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre la Désertification, qui a été un partenaire essentiel de ce travail. Je remercie les Ministres de l'Environnement qui ont exercé de 2005 à 2010, et qui ont tous soutenu ce travail en s'impliquant personnellement pour sa réussite. Je remercie mes amis du Ministère dont le Colonel Abdou Mallam Issa, le Directeur de la Faune, Salifou qui 'a souvent accompagné sur le terrain, Hassane, Zeinabou (Tantine), Ibrahim, et tous les forestiers de la zone girafes.

Cette thèse a en partie été financée par mon travail au sein de l'ASGN. Ma fonction de responsable scientifique de l'ONG était tout à fait compatible avec mon travail de thèse. Isabelle Ciofolo, Omer Dovi, et Pierre Gay ont joué un rôle important dans la création de ce poste. Ce travail m'a permis d'aller régulièrement sur le terrain pour collecter de nombreuses données. J'ai une pensée pour les travailleurs de l'ASGN dont certains sont devenus des amis.

Quand on fait du suivi de grands mammifères, le rôle du guide est essentiel. Je remercie du fond du cœur tous les guides de l'AVEN (l'association des guides girafes) et en particulier mon grand ami Kimba, équipé d'un incroyable détecteur de girafes. Il ne fait aucun doute que je n'aurais pas pu récolter autant de données sans son aide et son flair infaillible.

J'ai aussi pu compter sur le soutien et les lumières des professeurs de l'Université Abdou Moumouni de Niamey, en particulier celui du Professeur Saadou, et le professeur Ali. Je remercie aussi les étudiants et stagiaires avec lesquels j'ai eu l'occasion de collaborer : Boubé, Amadou, Caroline et Vincent. Je leur souhaite une longue et brillante carrière dans la recherche.

Toujours au Niger, j'ai pu compter sur de nombreuses institutions et amis. Je voudrais citer en particulier Florence d'AWF, le personnel de l'Ambassade et du Consulat de France, mes amis Jules, Marie, la famille Busy-Noury, les Valérie, Olivier et Sophie « d'Info Niger ».

Un des temps forts de cette thèse, a été la mise en place de colliers émetteurs sur 8 girafes. Cette expérience incroyable a pu se dérouler parfaitement grâce à l'excellente collaboration des autorités et compétences locales avec plusieurs experts internationaux, en particulier H-O Reuter, Philippe Chardonnet, Pete Morkel, et Andy Tuchtigs. Leur aide précieuse a permis d'équiper et de déséquiper les girafes et obtenir des données uniques. Un grand merci aussi à Daniel Cornelis du CIRAD pour ses conseils lors de la préparation de l'opération et à Sophie et Martin Haupt pour la conception des émetteurs.

L'encadrement scientifique de cette thèse a été réalisé par 2 grands de la recherche et de la conservation. Je n'ai pas honte de le dire maintenant que ma thèse est terminée, j'admire mes directeurs, et cela a été un immense honneur de travailler avec eux. Merci de m'avoir fait confiance. Mes 2 directeurs de thèse, Hervé Fritz et Jean-Michel Gaillard m'ont énormément apporté. Merci à Jean-Michel pour m'avoir enseigné la rigueur scientifique et pour ton aide précieuse lors de l'analyse des données dynamique des pops et des articles. Hervé, nos conversations passionnées dans ton bureau sur l'écologie et la conservation des grands mammifères me manqueront beaucoup.

Lors de mes courts séjours en France entre 2 sessions de terrain, et pendant ma dernière année de thèse, j'ai reçu un soutien sans faille de mes amis, doctorants pour la plupart, du laboratoire du LBBE. Un grand merci à mes amis du bureau 46 : Manu qui m'a initié à R et qui m'a beaucoup aidé pour les articles et les aspects spatiaux, Léo qui m'a maintenu en forme physique et psychologique, Alexis qui m'a initié patiemment à l'analyse des données dynamique des pops, Maud, Hugues, Alice, Thomas. J'ai adoré interagir avec tous ces jeunes chercheurs dont j'ai usé et abusé de la curiosité et de l'envie de partager le savoir. Merci aussi pour le soutien moral sans faille des Marion, Arzhela, Lucille, Maël.

Vincent Tolon a joué un rôle essentiel dans l'analyse de mes données spatiales. Sans lui je n'aurais jamais pu extraire autant d'information de mes données de terrain. Merci infiniment pour tout le temps passé à réfléchir ensemble sur l'analyse des données.

Un grand merci aussi à de nombreux chercheurs avec qui j'ai collaboré : Marie Noël de Vischer, et Denis Réale qui en plus de me prodiguer des conseils pendant la thèse m'ont fait l'honneur de faire partie de mon Jury. J'ai une pensée émue pour Nicolas Ganzin, qui nous a quitté bien trop tôt, et avec qui j'ai travaillé sur les aspects cartographiques. Merci aussi à Elsa Bonnaud qui m'a beaucoup aidé pour l'écriture de mon premier article et plus généralement m'a soutenu tout le long de ma thèse, et à Christian Noirard qui m'a appris à réaliser des biopies. Ma réflexion sur les girafes a pu se nourrir des échanges avec les autres chercheurs de l'International Giraffe Working Group, le groupe de travail girafes de l'UICN. Merci aussi aux bons conseils pour la RSF de Daniel Fortin, et à David Fouchet qui m'a presque convaincu que les stats était une discipline passionnante. Merci aussi à mes amis Jérôme, Casa, Alice, et l'infatigable geek Julien pour son aide en informatique. Je remercie chaleureusement le Président du Jury, Dominique Allainé, et Daniel Maillard, rapporteur de ma thèse, avec qui j'espère avoir à nouveau des conversations passionnantes sur la conservation en Afrique.

Une thèse est un travail long qui se nourrit de nombreuses collaborations mais qui nécessite aussi d'importants moyens financiers. Je remercie la fondation Prince Albert II de Monaco, le Fond Français pour l'Environnement Mondial qui a financé les colliers émetteurs, Giraffe Conservation Foundation pour son soutien financier et scientifique, ainsi que les généreux anonymes qui ont versés de l'argent à la fondation pour soutenir le projet, l'association Arborescence, la CEPA, Touroparc, le parc du Cerza, South Lakes Wild Animal Park, le zoo de Doué, la fondation Nature & Découverte, African Wildlife Foundation, et la fondation Mohamed Ben Zaïed.

*Je dédie ce travail à tous ceux qui ont compris que
l'argent et la communication, nécessaires aux actions de conservation,
sont des outils et non une finalité.*

UNIVERSITE CLAUDE BERNARD - LYON 1

Président de l'Université

Vice-président du Conseil d'Administration

Vice-président du Conseil des Etudes et de la Vie Universitaire

Vice-président du Conseil Scientifique

Secrétaire Général

M. A. Bonmartin

M. le Professeur G. Annat

M. le Professeur D. Simon

M. le Professeur J-F. Mornex

M. G. Gay

COMPOSANTES SANTE

Faculté de Médecine Lyon Est – Claude Bernard

Faculté de Médecine Lyon Sud – Charles Mérieux

UFR d'Odontologie

Institut des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques

Institut des Sciences et Techniques de Réadaptation

Département de Biologie Humaine

Directeur : M. le Professeur J. Etienne

Directeur : M. le Professeur F-N. Gilly

Directeur : M. le Professeur D. Bourgeois

Directeur : M. le Professeur F. Locher

Directeur : M. le Professeur Y. Matillon

Directeur : M. le Professeur P. Farge

COMPOSANTES ET DEPARTEMENTS DE SCIENCES ET TECHNOLOGIE

Faculté des Sciences et Technologies

Département Biologie

Département Chimie Biochimie

Département GEP

Département Informatique

Département Mathématiques

Département Mécanique

Département Physique

Département Sciences de la Terre

UFR Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives

Observatoire de Lyon

Ecole Polytechnique Universitaire de Lyon 1

Ecole Supérieure de Chimie Physique Electronique

Institut Universitaire de Technologie de Lyon 1

Institut de Science Financière et d'Assurance

Institut Universitaire de Formation des Maîtres

Directeur : M. le Professeur F. De Marchi

Directeur : M. le Professeur F Fleury

Directeur : Mme le Professeur H. Parrot

Directeur : M. N. Siauve

Directeur : M. le Professeur S. Akkouche

Directeur : M. le Professeur A. Goldman

Directeur : M. le Professeur H. Ben Hadid

Directeur : Mme S. Fleck

Directeur : M. le Professeur I. Daniel

Directeur : M. C. Collignon

Directeur : M. B. Guiderdoni

Directeur : M. P. Fournier

Directeur : M. G. Pignault

Directeur : M. le Professeur C. Coulet

Directeur : M. le Professeur J-C. Augros

Directeur : M R. Bernard

Identifier les contraintes pour la conservation des dernières girafes de l'Afrique de l'Ouest : Déterminants de la dynamique de la population et patron d'occupation spatiale

Le défi de la protection des espèces menacées en Afrique est de concilier de façon durable les objectifs de conservation de la nature, et la nécessité de développement économique des populations humaines. Au Niger, survivent aujourd'hui les dernières girafes d'Afrique de l'Ouest (*Giraffa camelopardalis peralta*). Ces girafes sont unique à plusieurs titres : (i) elles constituent les seules représentantes de la sous espèce *peralta* (ii), elles vivent dans une région fortement anthropisée (iii) elles vivent dans une zone non protégée, (iv) et elles ne cohabitent avec aucun prédateur. En 1996, la population était au bord de l'extinction avec seulement 50 individus. Malgré des signes de restauration observés ces dernières années, la sous-espèce est inscrite depuis 2008 dans la liste rouge des espèces menacées de l'UICN (Union Internationale pour la Conservation de la Nature) avec le statut « en danger ». Quels sont les facteurs qui pourraient limiter le taux de croissance maximum récemment observé dans cette population? Est-ce que les conjonctures favorables à l'augmentation de la population sont durables?

Aborder les questions de conservation des populations met en avant le besoin de connaître les paramètres démographiques de la population concernée, et les paramètres environnementaux qui conditionnent sa distribution spatiale. Nous avons réalisé une analyse de l'historique des comptages, puis, nous avons déterminé les paramètres démographiques de la population grâce à une approche par Capture Marquage Recapture. Une analyse spatiale à plusieurs échelles nous a permis de caractériser la distribution des girafes aux niveaux de la population et du troupeau (à partir d'observations directes), et de mesurer la sélection de l'habitat au niveau individuel (à partir d'un suivi par colliers GPS).

Les résultats des comptages, quasiment exhaustifs sur la période 2005-2008, nous ont permis de mettre en évidence une augmentation de la population de 12%. Ce chiffre constitue la croissance maximale jamais observée chez les girafes, et est proche du taux de croissance biologique maximal de cette espèce. A l'échelle de la population et du troupeau, les patrons de distribution des girafes sont conditionnés par la disponibilité des ressources alimentaires. Ces ressources sont distribuées saisonnièrement et subissent une pression anthropique croissante. La sélection de l'habitat montre que pendant la saison sèche, les girafes évitent la proximité des villages la journée, où le dérangement humain est élevé. Par contre, la nuit, les girafes s'approchent des villages où la quantité des ressources est élevée (arbres, greniers). L'utilisation des champs de niébé (haricots) est également un élément qui suggère que certaines ressources d'origines humaine sont attractives, voire favorables aux girafes. Ces constatations expliquent aussi la croissance des conflits humains-girafes. Nos résultats montrent l'importance de prendre en compte les activités humaines et la perception sociale des espèces concernées dans l'élaboration des stratégies de conservation.

Mots-clés : Girafe, démographie, sélection d'habitat, domaine vital, conflits humains-animaux

A bstract

Identifying conservation constraints for the last West African giraffe: population dynamics determining factors and spatial distribution pattern

One of the main challenges for endangered species protection in Africa is to find a sustainable way of integrating objectives of nature conservation with the economic development needs of the local human population. Last West African giraffe population, *Giraffa camelopardalis peralta*, lives in Niger. These giraffe are unique for several reasons: (i) they represent the only population of *peralta* sub-species, and (ii) they live in an area densely populated by humans, (iii) which is unprotected and (iv) without predators. In 1996, this giraffe population was almost extinct, with only 50 individuals remaining. Despite signs of population recovery, the sub-species has been classified as “endangered” according to the IUCN Red List assessment criteria. What are the limiting factors for the maximum annual growth rate that has been recorded over the last years in the population? Are favorable conjunctures to this population increasing sustainable?

Assessing population conservation requires knowledge of demographic parameters and understanding of the environmental factors driving its spatial distribution. Census data from 1996 to 2009 were analyzed and then demographic parameters through a capture-mark-recapture method were determined. A multi-scale spatial analysis allowed me to determine giraffe distribution at both population and herd level (through observations), and to measure habitat selection at the individual level (through GPS satellite collars).

Census results, almost exhaustive from 2005 to 2008 highlighted an annual growth rate of 12%. This is the maximum growth rate for a giraffe population, and fits with the theoretical maximum growth rate for the species.

At the population and herd level, giraffe distribution patterns are driven by food availability. These food resources are seasonally distributed and impacted by human activities. Habitat selection shows that during dry season, giraffe avoid village proximity, where disturbance is high. However, at night giraffe move closer to villages where food resource quantity and quality are higher (tree density, granaries). The use of bean field crop suggests that some cultivated crops gain in attraction and even become favourable to giraffe. This might explain the increase of human-giraffe conflicts. My results clearly show the importance of taking human activities and perception into account, when assessing wildlife conservation strategies.

Key words: giraffe, demography, habitat selection, home range, human-wildlife conflicts

Table des Matières

Remerciements.....	IV
Résumé.....	VI
Abstract.....	VII
Table des matières.....	X
Liste des figures.....	XIV
Liste des tableaux.....	XV
Liste des annexes.....	XVI

Table des Matières

Partie I.....1

Introduction1

1. Contexte général..... 2
2. Prise de conscience écologique 3
3. Enjeu de la conservation des espèces en Afrique 3
4. Esprit de la conservation moderne 4
5. Des risques d'extinction chez les mammifères inégalement répartis dans l'espace 5
6. La girafe..... 7
7. Les girafes d'Afrique de l'Ouest 9
8. Un triple enjeu : conservation d'une espèce menacée d'extinction, cohabitation humains-girafes, et connaissance de l'écologie des girafes 9
 - a. Enjeu de conservation 10
 - b. Enjeu de cohabitation humains - girafes..... 11
 - c. Enjeu de connaissance de l'écologie des girafes. La girafe est-elle un (méga) herbivore comme les autres ? 12
9. Problématique de la thèse 14
10. Plan de thèse..... 14

Partie II.....16

Contexte général16

- A. La girafe 17
 1. La biologie de la girafe 17
 - a. Généralités 17
 - b. Reproduction..... 17
 - c. Prédation..... 19
 - d. Rythme d'activité 19
 - e. Un régime alimentaire sélectif ? 20
 - f. Socialité 21
 - g. Identification 22
 2. Une histoire de la taxonomie des girafes..... 22
 3. Distribution historique des girafes de l'Afrique de l'Ouest..... 26
 4. Les causes d'une telle disparition 28
 5. Une population en sursis 29
 6. La place de la girafe dans la culture 29
- B. Le site d'étude 31
 1. Le Niger 31
 2. Climat 32
 3. Le cœur de la zone girafes 33
 - a. Le plateau de Kouré 33
 - b. Le Dallol Bosso Nord..... 34
 - c. La zone intermédiaire..... 34
 4. Les habitants de la zone girafes 34
 5. Autres mammifères ?..... 35

Partie III.....36

Dynamique de la population des girafes36

A.	Les comptages d'animaux sauvages.....	37
1.	Compter comment et pour quoi faire ?.....	37
2.	Principes, avantages et limites des 3 méthodes de comptages girafes au Niger utilisées depuis 1996 38	
a.	Le strip transect.....	38
b.	Le comptage aérien.....	39
c.	La photo identification et la CMR.....	39
•	Première étape : La photo identification.....	39
•	Deuxième étape : L'analyse CMR	40
3.	Détail des méthodes de recensements des girafes de 1995 à 2009.....	41
a.	Le strip transect.....	41
b.	Le comptage aérien.....	41
c.	La photo-identification.....	42
4.	Ces méthodes sont-elles adaptées au cas d'étude ?	44
a.	Le strip transect.....	44
b.	Le comptage aérien.....	45
c.	La photo identification et la CMR.....	45
B.	Aspects théoriques de la dynamique des populations	46
1.	Introduction	46
2.	Les stratégies biodémographiques	46
3.	Dynamique de la population des grands herbivores	47
a.	Effet de la masse sur les paramètres démographiques	47
b.	Effet de l'âge sur les paramètres démographiques	47
c.	Effet du sexe sur les paramètres démographiques.....	48
4.	Facteurs environnementaux conditionnant la dynamique de la population des grands herbivores	49
a.	Effet de la densité	49
b.	Effet du climat	49
c.	Facteurs anthropogéniques	50
5.	Le cas des petites populations	50
6.	La CMR, un outil pour évaluer les paramètres démographique	51
C.	Article accepté le 1er mars 2011 dans Oryx n° 10-A-0255.R1. Higher than expected growth rate in an endangered giraffe population: a successful human-wildlife cohabitation	52
	Abstract	54
	Keywords: Giraffe, <i>Giraffa camelopardalis peralta</i> , Capture-Mark-Recapture, demography, growth rate, population dynamics, survivalIntroduction.....	54
	Methods	56
	Results	60
	Discussion.....	61
	References.....	66
D.	2009, une année pas comme les autres.....	74
•	Conclusions sur la partie.....	77

Partie IV78

Utilisation et sélection de l'habitat78

A.	Utilisation et sélection de l'habitat, aspects théoriques.....	79
1.	Le concept de niche écologique.....	79
2.	Le concept d'habitat	79
3.	La sélection d'habitat.....	80

4. Le concept de domaine vital	82
B. Factors driving multiscale habitat use and home range size in the endangered West Africa giraffe (<i>Giraffa camelopardalis peralta</i>). Article en préparation.....	85
Abstract	87
Introduction	88
Methods	90
Results	93
Discussion	94
Reference	100
Conclusions sur la partie.....	112
C. Mise en place des colliers émetteurs girafes	113
1. Partenaires	113
2. Experts internationaux.....	113
3. Objectifs de conservation et de recherche	113
4. Méthode	114
a. Choix des émetteurs	114
b. Choix des girafes	116
c. Choix de la saison	117
5. Mise en place des colliers satellites	117
6. Déroulement d'une capture	119
7. La visite du Ministre et des journalistes.....	121
8. Acquisition des données	122
9. Le retrait des émetteurs satellites	122
10. Ce que nous avons appris	123
a. Amélioration de la construction de colliers émetteurs pour l'espèce girafe	123
b. Amélioration de la technique de capture des girafes d'Afrique de l'Ouest	124
c. Amélioration des connaissances sur l'écologie des girafes d'Afrique de l'Ouest	127
d. Amélioration des capacités	127
11. Evaluation des acquis de l'opération	128
D. Multi-scale giraffe habitat selection in a human-dominated landscape. Article en préparation.	130
Multi-scale giraffe habitat selection in a human-dominated landscape. Article en préparation...	131
Abstract	132
Introduction	133
Methods	135
Results	137
Discussion	138
References.....	142
Conclusion sur la partie	151

Partie V..... 152

Discussion générale 152

A. Rappel des acquis de ce travail	153
1. Rappel du contexte	153
2. Rappel des principaux résultats	153
a. Analyse des comptages, et analyse démographique	153
• Taux de croissance et survie.....	153
• 2009, l'année du changement ?	154
b. Distribution des girafes	155
• A l'échelle de la population	155
• A l'échelle du troupeau	155
• A l'échelle individuelle.....	156

B.	La situation des girafes aujourd'hui	158
1.	Statut de conservation.....	158
2.	Vers une saturation de la zone girafes ?	160
a.	Les signes de la saturation de la zone girafes	160
b.	Atteinte de la capacité d'accueil écologique ?	161
c.	Atteinte de la capacité d'accueil sociétale ?	162
3.	Conclusion.....	162
C.	Enjeux aujourd'hui pour sécuriser le futur des girafes	163
1.	S'assurer que la zone girafes soit toujours une zone clé	163
2.	S'assurer de conditions favorables dans la zone de Fandou.....	165
3.	Sécuriser les migrations longues distances.....	166
4.	S'assurer de la bonne perception des villageois	166
D.	Quelles priorités pour le suivi scientifique des girafes ?	167
1.	Continuer de surveiller la dynamique de la population.....	167
2.	Continuer de renseigner la distribution des girafes.....	168
3.	Le suivi individuel	169
4.	Opportunité de recherche	169
E.	Options de gestion	170
1.	La stratégie nationale de conservation des girafes.....	170
2.	Axes de réflexion.....	171
3.	La modélisation des scénarios de conservation.....	172
a.	Principe.....	172
b.	Principaux résultats.....	173
c.	Création d'une sous population ?	174
•	Un nombre adapté de girafes.....	174
•	Ne pas affaiblir la population source.....	174
•	Former des groupes sociaux viables.....	175
•	Choisir des habitats adaptés.....	175
•	Réunir les moyens nécessaires	175
F.	Conclusion générale	176
	Références bibliographiques	178
	Annexes.....	197

Listes des Figures

Figure 1	Figure Indices régional des populations de mammifères dans les aires protégées africaines: A, Afrique de l'Est, B, Afrique de l'Ouest, C, Afrique Australe (d'après Craigie et al. 2010).....	6
Figure 2	Schéma logique des interactions et de certains mécanismes liant les composantes de la dynamique de la population et les composantes spatiales des girafes (écriture verte) à l'échelle individuelle, du troupeau et de la population (bleu clair), avec les composantes environnementales telles que les ressources, les autres espèces (rouge) et le climat (bleu foncé).	13
Figure 3	Arbre phylogénétique des familles de ruminants (d'après Janis & Scott 1987).....	22
Figure 4	Distribution historique des girafes (Dagg & Foster, 1976) et distribution des girafes à la fin du XX ^{ème} siècle, (East, 1999), d'après Hassanin, 2007.....	25
Figure 5	Distribution des girafes d'après Sidney (1965), Kingdon (1979), et Skinner & Smithers (1990).....	26
Figure 6	Migrations des girafes observées en 1995-1996 (d'après Ciofolo, 1998).....	27
Figure 7	Evolution de la population des girafes d'Afrique de l'Ouest de 1995 à 2008 d'après les recensements effectués par photo-identification.....	29
Figure 8	Carte du Niger (en rouge le cœur de la zone girafe).....	31
Figure 9	Carte du cœur de la zone girafes comprenant 3 zones : le palteau de Kouré recouvert de brousse tigrée (Brousse tigrée numérotée de 0 à 3 suivant la densité), la zone intermédiaire, et le Dallol Bosso Nord).....	33
Figure 10	Exemple de fiche de photo identification du même individu. Album de 1998 (en haut), et 2007 (en bas).	43
Figure 11	Log-transformed annual counts of giraffe in Niger from 1996 to 2008. Data from 1996 to 2000: Ciofolo et al. (2000). 2005 data: Suraud & Dovi (2006). 2006 data: Suraud & Dovi (2007). 2007 data: Suraud (2008). 2008 data: Suraud (2009).	73
Figure 12	Nombre de mâles et femelles présents une année, et revus l'année suivante. Les individus à risque sont en gris clair, les individus vus une année et revus l'année suivante sont en gris foncé.....	75
Figure 13	d'après Buskirk, 2004. La capacité des mammifères à traverser leur domaine vital (polygones) et d'exclure leur conspécifiques dépend de la masse de l'espèce. Les petits mammifères comme la souris parcourent leur domaine vital (lignes rouges) en peu de temps, excluent les conspécifiques, et maintiennent donc un domaine vital exclusif. A l'inverse, les grands mammifères, comme la girafe, ne peuvent maintenir de domaine vital exclusif, ils partagent leur domaine avec les conspécifiques de sorte que, obligés de partager les ressources (domaine vital partagé en orange), la taille du domaine vital est plus grand qu'attendu pour combler les besoins alimentaires.	83
Figure 14	Proportion of giraffe location in the Koure Plateau and in the North Dallol Bosso/Intermediate Zone per decade in relation to rainfall from 2007 to 2010.....	105
Figure 15	Giraffe herd size frequencies observed in relation to season.....	109
Figure 16	Frequency of herds observed in relation to tiger bush density. BT0 is no tiger bush, BT1 is low tiger bush density, BT2 is medium tiger bush density, and BT3 is high tiger bush density.....	110
Figure 17	Herd size in relation to tiger bush density (increasing from 1 to 4). Point's size are proportional to the number of herds of a given size in a given habitat. Lozenges represent prediction of the generalized linear model (Poisson error) which test the effect of presence of yearling and tiger bush density on herd size during rainy season. Square represent prediction of the generalized linear model (Poisson error) which test the effect of tiger bush density only on herd size during rainy season.....	111
Figure 18	Localization map of the collared giraffe. Small black points are diurnal localizations; small black points are giraffe nocturnal localizations. Big black points are main villages; big white points are water-points.....	145
Figure 19	Boxplot of the tree density in relation to log-distance to villages.....	146
Figure 20	Predicted Resource Selection Function score (generalised linear models with mixed effects) at the home range and the location scale according to the log-distance to villages and the log-distance to water.	150

Listes des Tableaux

Tableau 1 Distribution of the Giraffe population in Niger by sex and age classes from 2005 to 2008. 2005 data: Suraud & Dovi (2006). 2006 data: Suraud & Dovi (2007). 2007 data: Suraud (2008). 2008 data: Suraud (2009)).	71
Tableau 2 Reproductive success of giraffe females in Niger from 2005 to 2008.	72
Tableau 3 Nombre d'individus recensés au cours du comptage 2009 par classe d'âge et par sexe	74
Tableau 4 Proportion d'individus par classe d'âge et de sexe vues en 2008 et non revues en 2009 (en excluant les girafes vues mortes)	76
Tableau 5 Seasonal giraffe population home range overlap calculated with Utilization Distribution Overlap Index (UDOI)	104
Tableau 6 Seasonal population home range size in km ² calculated with 95% and 50% fix kernel estimator, smoothing parameter = 2100m.	106
Tableau 7 Model selection of generalised linear models (Poisson error) predicting girafe herd size with the presence/absence of juveniles and the saison (dry/rainy). The model selection was performed according to the Akaike Information Criteria (AIC). d = number of parameter, Δ_i = difference of AIC with the best model, w_i = AIC weights relative to all models.	107
Tableau 8 Model selection of generalised linear models (Poisson error) predicting girafe herd size during the rainy season with the presence/absence of juveniles and the habitat (bush) density (ordinal variable from 0 to 3). The model selection was performed according to the Akaike Information Criteria (AIC). d = number of parameter, Δ_i = difference of AIC with the best model, w_i = AIC weights relative to all models.	108
Tableau 9 Données des captures lors de la pose des colliers girafes.	125
Tableau 10 Données des captures lors du retrait des colliers girafes.	126
Tableau 11 Evaluation des acquis de l'opération.	128
Tableau 12 Selection of Resource Selection Function (generalised linear models with mixed effects) predicting the habitat selection of 6 females giraffes at the home range scale with the tree log-density (tree), the log-distance to villages (village) and to water points (water), according to the day period (period: day or night). The model selection was performed according to the Corrected Akaike Information Criteria (AICc). d = number of parameter (random effect included), Δ_i = difference of AICc with the best model.	147
Tableau 13 Selection of Resource Selection Function (generalised linear models with mixed effects) predicting the habitat selection of 6 females giraffes at the location scale with the tree log-density (tree), the log-distance to villages (village) and to water points (water), according to the day period (period: day or night). The model selection was performed according to the Corrected Akaike Information Criteria (AICc). d = number of parameter (random effect included), Δ_i = difference of AICc with the best model.	148
Tableau 14 Coefficients of best Resource selection Functions (generalised linear models with mixed effects) predicting the habitat selection of 6 females giraffes at the home range and the location scale. Variables used are the tree log-density (tree), the log-distance to villages (village) and to water points (water), and the day period (period: day or night).	149

Listes des Annexes

Annexe 1. LE PHVA. Modélisation des stratégies de conservation de la population des girafes d'Afrique de l'Ouest

Annexe 2. Carte des observations des troupeaux de girafes

Annexe 3. Carte des localisations des colliers émetteurs girafes

Annexe 4. Suraud, 2007. Giraffes of Niger, 2007 census and perspective. IUCN – International Giraffe Working Group Newsletter 2(1): 4-7

Annexe 5. Suraud, 2008. 200 giraffes in Niger! IUCN – International Giraffe Working Group Newsletter 3(1): 32-33

Annexe 6. Suraud, 2009. Les dernières girafes de l'Afrique de l'Ouest, une population en sursis. CEPA magazine 19: 14-19

Partie I

Introduction



1. Contexte général

Parmi les 4 milliards d'espèces ayant évolué sur Terre ces 3.5 derniers milliards d'années, 99% ont disparu (Novacek, 2001). Ce constat montre à quel point l'extinction des espèces est un phénomène commun. Celle-ci est contrebalancée par la spéciation, à l'origine de l'apparition de nouvelles espèces, qui résulte des deux moteurs de l'évolution : la sélection naturelle et la dérive génétique (Barnosky et al. 2011). L'équilibre entre apparition et perte d'espèces a été instable au cours du temps, et 5 fois dans l'histoire de la Terre, le niveau d'extinction des espèces a été tel qu'il a été qualifié d'extinction de masse. La cinquième, sans doute la plus célèbre, a vu l'extinction des dinosaures il y a environ 65 millions d'années (Jablonski, 1994). Si les causes des crises d'extinction sont nombreuses, elles se caractérisent toutes par une extinction brutale, d'au moins 75 % des espèces (Raup & Sepkoski, 1982).

De plus en plus de scientifiques considèrent que la 6^{ème} crise d'extinction des espèces est en marche (IUCN redlist, 2011; Pereira et al. 2010). Une estimation précise de la perte d'espèces est contrainte par le grand nombre d'espèces aujourd'hui encore non découvertes ou décrites (Joppa et al. 2010). Néanmoins, d'après un rapport de 2009 de l'IUCN (Union Internationale pour la Conservation de la Nature), **le déclin des espèces a lieu aujourd'hui à une vitesse fulgurante: les espèces animales et végétales s'éteignent à un rythme 100 à 1000 fois plus rapide qu'au cours des temps géologiques précédents (IUCN redlist, 2011)**. La Liste rouge des espèces de l'IUCN est un indicateur privilégié pour suivre l'état de la biodiversité dans le monde. La catégorisation des risques d'extinction de la Liste rouge de l'IUCN est basée sur des critères objectifs et quantitatifs. Ainsi, par exemple d'après le critère A1, une espèce est listée Vulnérable, en Danger, ou en Danger Critique si le taux de déclin de la population a été respectivement entre 50 et 70%, 70 et 90%, ou >90%, sur une période de 10 ans ou encore, 3 générations (IUCN redlist, 2011). La Liste rouge indique qu'une espèce d'amphibien sur trois, plus d'un oiseau sur huit, et plus d'une espèce de mammifère sur quatre sont menacés d'extinction mondiale (IUCN redlist, 2011).

Si tous les organismes modifient leur environnement, les hommes sont loin de faire exception (Vitousek et al. 1997). En effet, l'originalité de ce qui apparaît comme la 6^{ème} crise d'extinction est son lien avec les activités humaines, mais également avec l'incroyable croissance de la population humaine qui occasionne des contraintes fortes sur les écosystèmes et les espèces (e.g. Primack, 2006). Cette année, le cap des 7 milliards d'êtres humains est franchi, et selon certaines prévisions, 9 milliards d'êtres humains peupleront la Terre en 2050 (ONU, 2011). Le réchauffement climatique en lien avec la forte augmentation du taux de

CO₂ dans l'atmosphère (e.g. de 290 à 360 parties par millions entre les années 1900 et 2000, Steffen, 2004), la fragmentation de l'habitat, les pollutions, la surpêche, la chasse excessive, l'introduction de plantes invasives, de pathogènes sont les facteurs principaux avancés pour expliquer à l'échelle planétaire l'extinction des espèces (Vitousek et al. 1997; Pereira et al. 2010).

2. Prise de conscience écologique

L'importance de conserver la biodiversité pour assurer l'avenir de l'Homme est désormais reconnue internationalement. Preuve du développement d'une culture mondiale de respect de l'environnement, les sommets de la Terre présentent un fort enjeu symbolique (Déclaration de Rio, 1992). Ils visent à montrer la capacité collective à gérer les problèmes planétaires et affirment la nécessité d'un développement durable (Pearce & Gilles, 1993). Lors du sommet de 1992, la Déclaration de Rio fixe les lignes d'action visant à assurer une meilleure gestion de la planète, fait progresser le concept des droits et des responsabilités des pays dans le domaine de l'environnement. Cependant, elle n'est pas contraignante (Hileman, 1992), et la tâche pour freiner l'extinction des espèces est immense...

Extrait de la déclaration de Paris sur la biodiversité, 2005. Les causes primaires de l'érosion de la biodiversité sont des facteurs de nature démographique, économique et institutionnelle, notamment une demande croissante de terres et de ressources biologiques suite à la croissance de la population humaine, de la production, de la consommation et du commerce mondial, associée à l'incapacité des personnes et des marchés à prendre en compte les conséquences à long terme des changements environnementaux et l'ensemble des valeurs de la biodiversité.

3. Enjeu de la conservation des espèces en Afrique

L'enjeu de la conservation aujourd'hui tient beaucoup à la conciliation entre les besoins de protection de la nature et la nécessité de développement économique des populations humaines (e.g. Western et al. 2009). Arriver à atteindre conjointement ces 2 objectifs est crucial en particulier en Afrique car ce continent combine à la fois une biodiversité exceptionnelle, et des défis économiques immenses.

Au début du XX^{ème} siècle, pendant l'époque coloniale, l'introduction des armes à feu et la commercialisation des produits issus de la faune sauvage, ont donné lieu à une exploitation

incontrôlée de la faune sauvage en Afrique (Chardonnet, 1996). Les premières lois de conservation de la faune et de la flore ont retiré le droit aux populations de toute forme d'exploitation des animaux sauvages, et leur ont interdit de s'installer dans les aires protégées (Adams & Hulme, 2001). Ainsi, la chasse traditionnelle fut bien souvent prohibée. Le premier parc national créé en Afrique, le Parc national Kruger, date de 1898 et se trouve en Afrique du Sud (UICN, 1999). Aujourd'hui, plus de 7 % de la superficie terrestre de l'Afrique font partie des zones protégées (PNUE-CMSC, 2001).

L'efficacité des aires protégées, souvent difficile à mesurer, est aujourd'hui controversée (Craigie et al. 2010; Timko & Innes 2009). Nombreux sont ceux qui considèrent négatif l'impact de l'explosion récente des aires protégées sur les communautés locales qui perdaient leur droits coutumiers, les déplaçant, et les excluant de l'exploitation des ressources naturelles. (e.g. Synge & Hawe 1999). Il en a découlé de nombreux conflits avec les populations dépossédées de leur ressource. Compte tenu des erreurs du passé, il est apparu indispensable de repenser non seulement le choix des zones à conserver mais aussi les approches de gestion qui doivent concilier conservation et satisfaction des populations locales (Synge & Howe, 1999). D'autre part, les aires protégées sont souvent gérées pour favoriser les grands mammifères appréciés des touristes (James et al. 1999). Ainsi, certains aménagements ont permis d'augmenter les densités locales de grands mammifères comme les points d'eau (Owen-Smith & Mills 2007). Les aires protégées privées contribuent aussi pour une grande part à la conservation in situ de la biodiversité, en particulier en Afrique Australe. Là encore, les espèces présentes sont conditionnées pour beaucoup par la préférence des touristes et ne favorise donc qu'un faible nombre d'espèces, les plus charismatiques (Cousins et al. 2008). Enfin, une proportion importante de grands mammifères vit en dehors des aires protégées et est en déclin. Ceci représente un problème de conservation incontournable qui a particulièrement peu été étudié (e.g. Western et al. 2009).

4. Esprit de la conservation moderne

Une des grandes tendances des trois dernières décennies a été l'association croissante des populations locales aux initiatives de conservation (UNEP, 2011). Les programmes de conservation communautaire visent à atteindre leurs objectifs en permettant aux populations qui vivent dans et à proximité des zones protégées, de participer aux décisions de gestion des terres, en donnant aux habitants de la région des droits sur les ressources de la faune et de la flore, et en faisant en sorte qu'ils retirent un avantage économique de la conservation (Hackel, 1999).

Parmi les taxons particulièrement touchés par le risque d'extinction, les mammifères sont en première ligne. Cependant, à l'échelle planétaire, il existe une incertitude importante sur le nombre réel d'espèces de mammifères menacées d'extinction: 21 % le sont officiellement, mais pour 15% des mammifères les données sont insuffisantes pour qu'ils soient catégorisés (Schipper et al. 2008). Sur les 5487 espèces de mammifères aujourd'hui reconnues, 1139 sont listées comme étant « En Danger ». Parmi elles, 76 espèces sont considérées éteintes dans la nature (e.g. le cerf du Père David (*Elaphurus davidianus*) n'existe plus qu'en captivité), 188 sont en Danger Critique d'Extinction. De plus, 323 espèces sont considérées « Near threatened », c'est-à-dire proche d'être menacées, et risquent donc de basculer dans une catégorie menacée dans un avenir proche. Parmi les espèces de mammifères dont la tendance de la population est connue, 52% sont en déclin. Il est donc probable que leur statut de conservation se détériore dans un proche futur. Seules 5% des espèces de mammifères menacées d'extinction (tous statuts confondus) ont une population stable ou en croissance (e.g. le bison européen (*Bison bonasus*)).

5. Des risques d'extinction chez les mammifères inégalement répartis dans l'espace

Les 2 principales menaces sur les mammifères sont la perte et la dégradation de l'habitat (40% des espèces) et la chasse (pour la nourriture, médecine traditionnelle, trophée, pour 17% des espèces). La chasse affecte en particulier les grands mammifères et varie dans l'espace: 90 % du déclin est expliquée par la chasse en Asie, 80% en Afrique, et 64% dans en Amérique du Sud et Centrale (Schipper et al. 2008). De plus, certaines espèces menacées sont particulièrement prisées pour la chasse au trophée, car ce qui est rare est recherché (Courchamp et al. 2006; Palazy et al. 2011). D'ailleurs, la chasse au trophée de plusieurs espèces de grands félins les rend encore plus vulnérable (e.g. *Panthera leo*, Packer, 2011). Il existe une grande variabilité spatio-temporelle du déclin des grands mammifères en Afrique. D'après l'analyse de Craigie et al. (2010), le déclin est en moyenne de 59% chez les grands mammifères dans les aires protégées entre 1970 et 2005, dont 52% en Afrique de l'Est, et un effondrement de 85% en Afrique de l'Ouest ! Néanmoins les données en Afrique de l'Ouest sont peu nombreuses, et certaines zones géographiques sont non renseignées. De façon surprenante, l'Afrique Australe enregistrerait un accroissement de la population des grands mammifères de 24%, en particulier grâce à une bonne gestion des aires protégées, qui favorise les grands mammifères dans le but de satisfaire les touristes. En Afrique Australe, on observe

par ailleurs de nombreuses zones de chasse, dans les aires protégées, et dans les réserves privées, dont la bonne gestion peut s'avérer être un outil favorisant la protection des habitats.

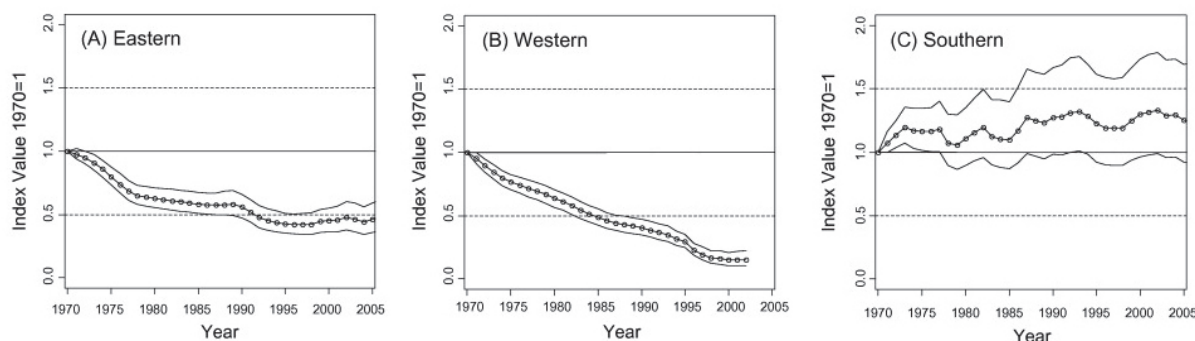


Figure 1 Figure Indices régional des populations de mammifères dans les aires protégées africaines: A, Afrique de l'Est, B, Afrique de l'Ouest, C, Afrique Australe (d'après Craigie et al. 2010)

En Afrique de l'Ouest et Centrale, les grands mammifères sont chassés et vendus localement comme viande de brousse (e.g. Struhsaker & Oates 1995). Il existe une corrélation positive entre le déclin des espèces et la taille de la population humaine environnante, fortement demandeuse en viande de brousse (Campbel & Hofer, 1995). Ceci est particulièrement vérifié chez les carnivores, primates et ongulés. Les menaces sur la biodiversité en Afrique de l'Ouest sont grandes par rapport aux autres pays de l'Afrique sub Saharienne ; en cause, la pression humaine et la perte d'habitat croissantes (Craigie et al. 2010). La population humaine dans les pays en voie de développement continue de croître rapidement (UNEP, 2011). Ceci suggère que la pression humaine sur la faune va continuer de croître elle aussi.

Les aires protégées en Afrique de l'Ouest souffrent de manque de moyens financiers et humains pour fournir une protection efficace des grands mammifères (Craigie et al. 2010), qui sont menacés en particulier par la chasse via le commerce de viande de brousse (Brashares et al. 2004), mais aussi par les sécheresses. Les sécheresses exceptionnelles des années 70-80 en Afrique Centrale et de l'Ouest ont été catastrophiques pour les grands mammifères, et ont coïncidé avec une pression humaine croissante (Scholte et al. 2011).

Deux visions de la conservation (Caughley, 1994). D'après Caughley, il existe 2 façons principales d'aborder la biologie de la conservation: une centrée sur les « petites populations » qui s'intéresse à la persistance de la population, et une centrée sur les « causes du déclin » des populations. Si la vision « petite population » centrée a le mérite d'être sous-tendue par des fondements théoriques, elle n'apporte pas de solution pratique aux espèces en danger, et ne fournit des réponses que sur la durée de persistance d'une espèce si rien ne change (elle est peu robuste à la stochasticité). Ainsi, cette approche a surtout été utilisée dans le cadre d'élevage en captivité ou de création de réserve. A l'inverse, le paradigme « cause du déclin » répond quant à lui de façon pragmatique aux problèmes de conservation car il s'attache à découvrir les causes souvent nombreuses et liées du déclin, mais aussi s'attache à trouver des solutions pour y remédier. Ainsi, il apporte des réponses au cas par cas qui sont peu généralisables. Cette approche manque par ailleurs de fondements théoriques. Les 2 approches sont complémentaires, et leur utilisation combinée peut s'avérer efficace pour réduire la probabilité d'extinction d'une espèce.

6. La girafe

La girafe, à l'image des autres espèces de grands mammifères africains comme l'éléphant ou le rhinocéros, a vu son nombre et son aire de distribution diminuer drastiquement au cours du XX^{ème} siècle. Ce processus semble s'accélérer ces dernières années. Le nombre total des girafes en Afrique était estimé en 1999 (East, 1999) à 140,000 parmi lesquels 40% étaient dans ou à la périphérie d'aires protégées. D'après les estimations de Giraffe Conservation Foundation, il y aurait aujourd'hui moins de 80,000 individus. En une dizaine d'années seulement, la population totale des girafes a quasiment été divisée par 2. D'après des estimations récentes, le nombre d'individus de 6 des 9 sous-espèces de girafes reconnues aujourd'hui (voir partie 2) continue de décroître (International Giraffe Working Group, 2011). La girafe souffre des mêmes contraintes que la plupart des grands mammifères africains: la perte d'habitat et surtout la chasse pour la viande de brousse. Par exemple, au Serengeti, la girafe est la 2^{ème} espèce braconnée pour la viande après le buffle (Fryxell, 1995).

Table 1 Effectif estimé des sous-espèces de girafes (International Giraffe Working Group, 2011)

Angolan giraffe (<i>G.c. angolensis</i>)	- <20,000
Kordofan giraffe (<i>G.c. antiquorum</i>)	- <3,000
Masai giraffe (<i>G.c. tippelschircki</i>)	- <40,000
Nubian giraffe (<i>G.c. camelopardalis</i>)	- <250? Unknown
Reticulated giraffe (<i>G.c. reticulata</i>)	- <5,000
Rothschild's giraffe (<i>G.c. rothschildi</i>)	- <670
South African giraffe (<i>G.c. giraffa</i>)	- <12,000
Thornicroft's giraffe (<i>G c. thornicrofti</i>)	- <1,500
West African giraffe (<i>G.c. peralta</i>)	- <250

7. Les girafes d'Afrique de l'Ouest

Parmi les 9 sous-espèces de girafes, la girafe d'Afrique de l'Ouest, *Giraffa camelopardalis peralta* a l'effectif de population le plus faible. Elle est la première à avoir été inscrite sur la Liste rouge de l'UICN en 2008 avec le statut « En Danger » (Fennessy & Brown, 2008).

La girafe de l'Afrique de l'Ouest cumule les spécificités suivantes:

- Le nombre d'individus est extrêmement limité. En 1996, l'extinction est très proche avec une population totale de 50 individus (Ciofolo, 1998).
- Son aire de distribution est très restreinte. Encore présente au début du XXème siècle dans la plupart des pays de l'Afrique de l'Ouest (voir partie 2), elle ne survit aujourd'hui que sur une superficie restreinte au Niger, un des pays les plus pauvres du monde.
- Elle est unique génétiquement. Une étude génétique récente (Hassanin et al. 2007) montre non seulement qu'elle est différente génétiquement des autres sous-espèces (voir même espèces, voir Brown et al. 2007) de girafes, mais aussi qu'il n'existe aucun représentant de ces girafes en captivité.
- Elle vit en dehors des aires protégées. Elle évolue principalement dans la « zone girafes », à environ 60km à l'Est de Niamey, qui appartient à la zone de transition du parc International du W, qui ne bénéficie pas d'un régime de protection particulier.
- Elle ne cohabite pas avec d'autres espèces de grands mammifères sauvages, ni prédateurs.
- Enfin, elle partage son habitat, avec une forte densité de population humaine (environ 55 hab/km²).

En 1996, la girafe d'Afrique de l'Ouest est au bord de l'extinction avec une population de 50 individus. Depuis, grâce à l'arrêt du braconnage, et du fait de l'absence de prédateurs la population de girafes semble se restaurer (Ciofolo, 1998; Boulet et al. 2004).

8. Un triple enjeu : conservation d'une espèce menacée d'extinction, cohabitation humains-girafes, et connaissance de l'écologie des girafes

Le gouvernement du Niger, les ONG locales et internationales de conservation de la nature, et l'UICN s'accordent à dire que les dernières girafes d'Afrique de l'Ouest sont un patrimoine de la biodiversité unique et indispensable à conserver. En plus des enjeux de conservation de la biodiversité, dans un contexte de cohabitation humains-girafes, doivent se concilier des

enjeux de développement local, et se posent des questions sur le partage des ressources, et sur la perception des girafes par les humains avec qui elles cohabitent.

a. Enjeu de conservation

Les girafes d'Afrique de l'Ouest représentent la sous-espèce de girafes la plus menacée de toutes. Dès lors, renseigner le statut de la population est une première étape indispensable.

Les éléments pour renseigner le statut de conservation d'une espèce peuvent se classer en 2 grandes catégories : (1) La dynamique de la population (variation d'abondance dans l'espace et dans le temps), et (2) la distribution spatiale (qui peut varier dans le temps et suivant l'échelle considérée : population, troupeau, individuelle). La dynamique de la population et la distribution spatiale sont interconnectées. Les facteurs environnementaux (e.g. braconnage, dérangement, climat) impactent différemment la dynamique de la population et la distribution spatiale. Les résultats de plusieurs études récentes qui ont examiné la relation existant entre les performances individuelles et l'habitat utilisé suggèrent en effet que la dynamique de la population peut être influencée par l'hétérogénéité spatiale qui affecte les paramètres démographiques à une échelle locale. (Coulson et al. 1997 et 1999; Conradt et al. 1999; Pettorelli et al. 2001). A l'échelle individuelle, la masse de l'individu, le sexe, l'âge influencent la distribution des animaux (Relyea et al. 2000; Mysterud et al. 2001). Ceci est particulièrement accentué lorsque l'habitat est très hétérogène, car l'accès aux ressources devient un élément clé du succès reproducteur et donc de la dynamique de la population. Indépendamment de ces facteurs, il existe de fortes variations intra-spécifiques chez les animaux sociaux. Ainsi, les animaux doivent minimiser le risque de prédation, tout en parcourant la distance nécessaire à la recherche de la nourriture (Fryxell, 1995; Kie, 1999; Buskirk, 2004), et minimisant le stress thermique (Porter et al. 2000 et 2002), tout en maintenant les contacts sociaux (Aycrigg & Porter 1997). L'abondance et la distribution spatiale de la nourriture influence la capacité d'un animal à s'alimenter correctement (Kareiva, 1983; Cain, 1985). La taille des troupes d'herbivores sociaux est une réponse au risque de prédation (Jarman, 1974), et à la compétition intra spécifique (Bercovitch & Berry, 2010). Plus le risque est important, plus les troupes ont tendance à être grands, et plus la compétition intra-spécifique est grande, plus les troupes ont tendance à être petits.

Pour renseigner le statut de la population, des comptages ont été réalisés. En répétant ces comptages régulièrement (annuellement) nous avons pu renseigner la cinétique de la population. Aborder la problématique des comptages, nous amène à nous interroger sur les méthodes. Quelle méthode pour compter efficacement les girafes de l'Afrique de l'Ouest?

(voir partie 3) Depuis 1996, plusieurs tentatives de recensements ont eu lieu en employant des méthodes variées (Ciofolo, 1998; Boulet et al. 2004; Suraud, 2008). Les résultats de ces recensements semblent indiquer que la population a connu une forte croissance récemment. Devant le manque de données précises sur la population des girafes depuis plusieurs années, nos travaux préliminaires, et cette thèse, ont permis de confirmer une forte croissance de population de 2005 à 2009 grâce à l'utilisation de la photo identification, qui est particulièrement bien adaptée à cette espèce, et grâce à l'analyse par Capture Marquage Recapture (CMR) (Lebreton, 1992).

b. Enjeu de cohabitation humains - girafes

Le modèle girafe d'Afrique de l'Ouest est unique par sa cohabitation avec les humains. Cette cohabitation pose des problèmes bilatéraux. D'un côté, les Hommes par leurs activités de culture, d'élevage, et de coupe de bois, ont un fort impact sur la ressource alimentaire des girafes (destruction de l'habitat, dérangement) (Saadou, 1996; Leroy et al. 2009) et aussi potentiellement directement sur les girafes par le braconnage (Newby, 2006). Si le braconnage a aujourd'hui quasiment disparu, il reste une menace potentielle importante, car les girafes semblent avoir modifié leur alimentation. En effet, les girafes sont accusées par les villageois de détruire une partie des récoltes, en particulier le niebe (haricot). Ce comportement exceptionnel chez un browser quasi-strict (cueilleur – qui se nourrit en majorité d'arbres et arbustes (Perez-Barberia & Gordon, 1999), engendre des conflits (Leroy et al. 2009; Morou, 2010). Dès lors, il apparaît évident que l'homme est central dans ce contexte particulier de conservation des girafes.

Les comptages indiquent une forte augmentation de la population des girafes depuis 1996 (Boulet et al. 2004; Ciofolo, 1998; Suraud, 2007). Dans le même temps, la population humaine progresse elle aussi rapidement (Boureïma, 2006), et la destruction de l'habitat s'accélère (Abdou, 2005). Nous nous sommes alors interrogés: Approchons-nous de la saturation de l'habitat en girafes (capacité d'accueil)? A densité élevée, des mécanismes de densité-dépendance influent négativement sur la croissance de la population de grands mammifères (Bonenfant et al. 2009). Est-ce que les paramètres démographiques de la population, et la distribution spatiale des girafes à l'échelle de la population, du troupeau, de l'individu reflètent une saturation de l'habitat ? Avec l'augmentation des conflits humains–girafes (Leroy et al. 2009; Morou 2010), se pose la question de l'intégration des villageois dans la conservation des girafes. Est-ce que la perception des villageois sur la girafe permet

une conservation durable, autrement dit, approchons-nous de la saturation sociétale des villageois vis-à-vis des girafes ?

Contrairement à ce qui est attendu pour les herbivores de grandes tailles, la girafe est un « browser ». Elle a donc à la fois une masse corporelle qui impose de se nourrir en grande quantité, mais en plus elle est sélective dans son alimentation (Dagg & Foster, 1976; Fennessy, 2004). Nous nous sommes interrogés sur les ressources clés pour les girafes, et leur disponibilité / accessibilité, en particulier dans le cadre de la cohabitation avec les humains, et de forte saisonnalité de la pluie. Le système est ici simplifié par rapport aux autres populations de girafes, car il n'y a pas de prédateurs. Dans quelle mesure la distribution de la population, la taille des groupes et les déplacements individuels des girafes sont-ils conditionnés par l'accès aux ressources clés ? Pour répondre à cette question, nous nous sommes intéressés à l'utilisation de l'habitat à l'échelle de la population, du troupeau (données d'observation), et la sélection de l'habitat à l'échelle individuelle (mise en place de colliers émetteurs GPS sur certaines girafes).

c. Enjeu de connaissance de l'écologie des girafes. La girafe est-elle un (méga) herbivore comme les autres ?

En plus de l'obtention de données démographiques uniques, l'approche par CMR permet de tester des hypothèses de survie par classe d'âge (comme attendu chez les espèces herbivores longévives, la survie juvénile est-elle inférieure à la survie adulte?), de renseigner sur le temps de génération, une mesure de la vitesse des histoires de vie (Gaillard et al. 2005), et d'estimer l'élasticité à la survie adulte et juvénile.

La girafe est le ruminant le plus lourd, et le plus haut, de la planète. Elle se situe à l'extrémité du gradient de masse corporelle, et représente une occasion unique de tester les hypothèses sur lien entre trait d'histoire de vie et taille corporelle chez les ongulés. Avec une population de girafes en cours de restauration depuis 1996, nous pouvons tester des hypothèses de croissance maximale chez les girafes en relation avec l'allométrie chez les « browsers ».

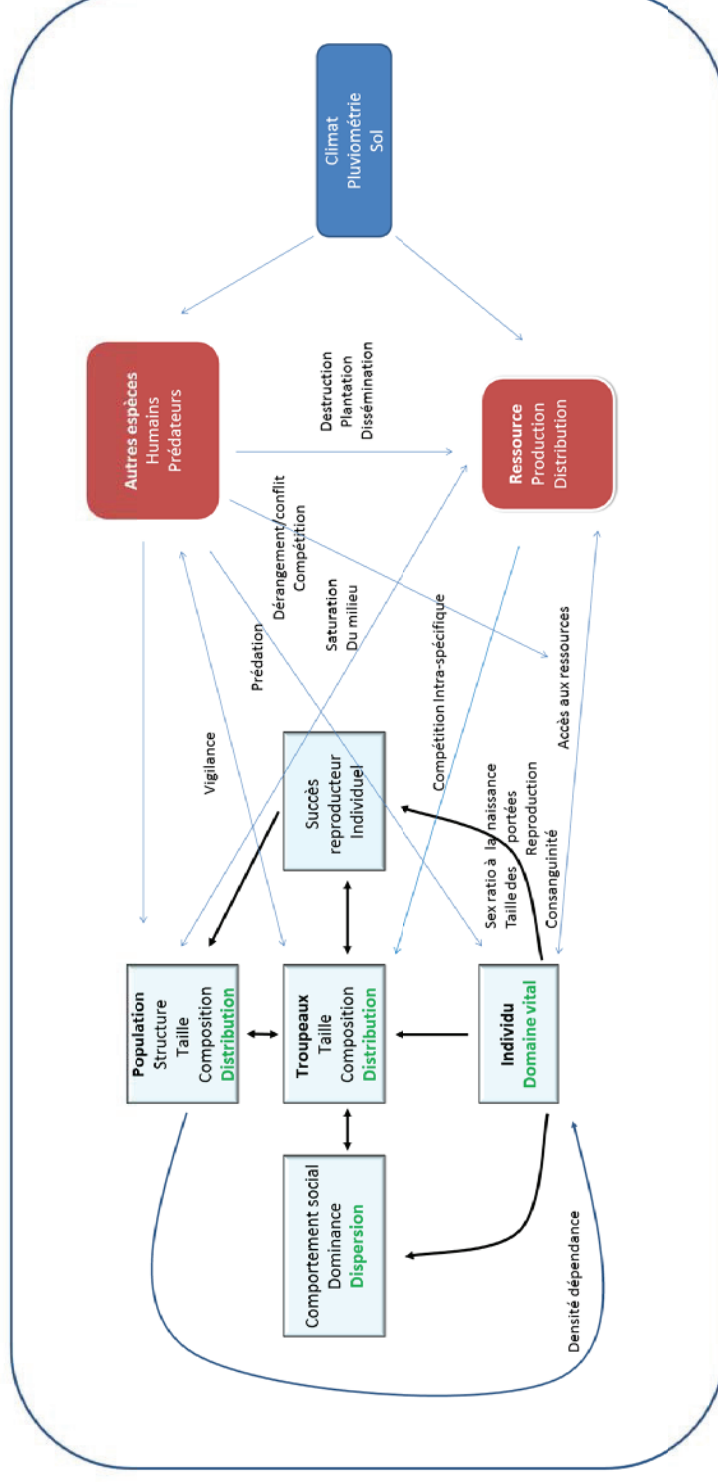


Figure 2 Schéma logique des interactions et de certains mécanismes liant les composantes de la dynamique de la population et les composantes spatiales des girafes (écriture verte) à l'échelle individuelle, du troupeau et de la population (bleu clair), avec les composantes environnementales telles que les ressources, les autres espèces (rouge) et le climat (bleu foncé).

9. Problématique de la thèse

Nous l'avons vu, l'extinction des espèces est extrêmement rapide à l'échelle de la planète. Celle-ci est inégalement répartie dans l'espace. Elle est très rapide en Afrique, en particulier en Afrique de l'Ouest. Ce risque d'extinction affecte particulièrement les grands mammifères qui souffrent de la surexploitation via la chasse/braconnage, et sont particulièrement sensibles à la perte d'habitat. De plus, les grands mammifères ont des contraintes biologiques importantes car leurs populations montrent des temps de génération longs, et des taux de croissance faibles (e.g. Gaillard et al. 2000). Dans ce contexte, la population des girafes d'Afrique de l'Ouest se restaure après avoir été soumises à une pression de braconnage intense. Quels sont les facteurs qui pourraient limiter la croissance récemment observée? Est-ce que les conjonctures favorables à l'augmentation de la population sont durables?

Nous nous attendons à ce que les ressources clés et les perturbations (e.g. d'origine humaine) soient des déterminants essentiels de la dynamique de la population et de la sélection de l'habitat des girafes. Dans ce contexte de densité humaine élevée, et de cohabitation humains-girafes de plus en plus conflictuelle, nous nous interrogeons sur les seuils de la capacité d'accueil écologique et/ou sociétale, qui si ils étaient atteints, se traduiraient par des migrations d'individus en dehors de la zone girafes.

10. Plan de thèse

La partie 2 décrira le contexte dans lequel les girafes ont quasiment disparu de l'Afrique de l'Ouest. Nous commencerons par un récapitulatif historique de la taxonomie pour le moins controversée des girafes, puis nous essaierons de comprendre les raisons de la disparition des girafes de l'Afrique de l'Ouest, encore présentes il y a un siècle à peine dans de nombreux pays, du Niger, aux côtes du Sénégal. Dans ce contexte de cohabitation humains-girafe, il nous est apparu important de comprendre comment a évolué la perception des girafes par les villageois, et les implications qu'une mauvaise cohabitation pourrait entraîner en terme de survie et d'occupation de l'espace.

Aborder la problématique de conservation pose des questions sur les méthodes de comptage, mais surtout elle met en avant le besoin de connaître les paramètres démographiques de la population, ainsi que les paramètres écologiques et environnementaux qui pourraient limiter la

croissance de la population, et influencer sur l'utilisation de l'habitat des girafes (e.g. distribution des individus dans l'espace).

Nous avons utilisé des méthodes complémentaires pour renseigner la dynamique de la population (voir partie 3), et spatiale à plusieurs échelles à travers l'étude des facteurs environnementaux déterminant la distribution des girafes au niveau de la population et du troupeau (voir partie 4-B) ainsi que la sélection de l'habitat au niveau individuel (voir partie 4-D).

Une cinquième partie permet de rappeler les principaux résultats obtenus dans le cadre de ce travail, et de les mettre en perspective. Nous mettons en avant les implications des résultats pour la gestion des girafes, et de ses ressources clés. Nous discutons des axes prioritaires de conservation, et des stratégies possibles pour concilier les besoins des humains, et ceux des girafes.

Partie II

Contexte général



A. La girafe

1. La biologie de la girafe

a. Généralités

La girafe est une espèce très charismatique d'Afrique. Chez les adultes, on observe un fort dimorphisme sexuel, les mâles sont environ 50% plus lourds (1200kg en moyenne, poids maximum plus de 1800Kg) que les femelles (800 kg en moyenne, poids maximum plus de 1200Kg) (Dagg, 1971; Skinners & Smithers, 1990). Les mâles peuvent atteindre 5.50 mètres de haut, les femelles mesurent environ 4.50 mètres (Skinner & Smithers, 1990). Ainsi, les girafes ont peu de compétiteurs pour les ressources, les bovins ne se nourrissant pas à plus de 2.5 mètres de hauteur. Le principal compétiteur potentiel est l'éléphant (Dagg & Foster, 1976). Dans la nature, la durée de vie maximum d'une girafe est de 25 ans, et de 28 ans en captivité (Wilson & Mittermeier, 2011).

b. Reproduction

Le système de reproduction est polygyne, où seul un nombre réduit de mâles semble avoir accès à la reproduction, souvent les plus gros et les plus agressifs (Dagg & Foster, 1976). L'activité sexuelle de la femelle est limitée à quelques jours, toutes les 2 semaines (Pratt & Anderson, 1985). Le mâle détermine si la femelle est en œstrus en goutant l'urine de la femelle (ce processus s'appelle le « flehmen », Leuthold, 1977). Si la femelle est réceptive, le mâle reste à proximité de la femelle, tente de s'accoupler avec elle (Leuthold, 1979; Pratt & Anderson, 1985), et éloigne ou se bat avec les mâles concurrents. Pendant cette période le mâle diminue son temps d'alimentation (Bercovitch, 2006). Ces combats entre mâles, appelés « necking », sont souvent ritualisés mais parfois violents: les mâles s'envoient des coups de cou et de tête. Très rarement dans la littérature, la mort d'un mâle suite à un combat a été rapportée (Simmons & Scheepers, 1996), cependant, au Niger, 3 cas de combats jusqu'à la mort ont été observés: un en 2005 et deux en 2009 (pers. obs. ; Idé. Com. Pers.) Un grand cou peut être un avantage, dans le cadre de la compétition pour les ressources car il diminue la compétition interspécifique, mais il peut aussi procurer un avantage en termes de sélection sexuelle (Simmons & Scheepers, 1996), les grands et gros cous étant donc sélectionnés, ceci pouvant fournir une explication à la taille exceptionnellement grande des cous des girafes (plus de détail, voir encart ci-après). La

reproduction chez les girafes n'est pas saisonnière, mais des pics de naissance ont été rapportés dans certaines populations (Scheepers, 1992; Fennessy, 2004). La gestation dure environ 15 mois, et quand les conditions sont bonnes, en moyenne un girafon unique naît tous les 2 ans (Dagg & Foster, 1976). Cette période entre 2 mises bas peut diminuer si le girafon meurt (Dagg & Foster, 1976).

Avantage et « coût des coups de cou »

Des études récentes débattent de l'origine évolutive de la grande taille et du grand cou des girafes (Simmons & Shippers, 1996; Mitchell et al. 2009; Simmons & Altwegg, 2010). La première hypothèse est que les grands cous ont été sélectionnés en réponse à la compétition avec les autres browsers, car ils permettent de manger à une hauteur supérieure aux autres espèces (Darwin, 1859). La deuxième hypothèse voit dans un grand cou un caractère sélectionné en réponse à la compétition entre les mâles. Ainsi, les mâles à gros cou (longs et larges) auraient des meilleures chances de réussite au combat (necking) et donc un meilleur accès à la reproduction. Certains arguments laissent penser que cette hypothèse de sélection sexuelle est le moteur évolutif principal de la grande taille des cous chez les girafes, tout en reconnaissant que les 2 hypothèses ne pas sont mutuellement exclusives (Simmons & Shippers, 1996).

Parmi les arguments avancés en faveur de l'hypothèse de la sélection sexuelle, certains m'ont paru particulièrement pertinents. Par exemple, les études de l'alimentation montrent que les girafes mangent le plus souvent entre 2.5 et 3 mètres, soit bien plus bas que leur taille ne leur permet (du Toit, 1990). Les girafes sont considérablement plus grandes que les autres browsers (bien plus que nécessaire pour éviter la compétition), et c'est le cas depuis 1 million d'années (Mitchell & Skinner, 2003). Ce constat suggère que d'autres pressions sont à l'origine du grand cou et de la grande taille des girafes, car une grande taille représente un cout énergétique important. Les 2 compétiteurs l'éléphant et le rhinocéros noir font tomber les arbres au sol en particulier pendant les sécheresses, ce qui ne confère pas d'avantage au long cou de la girafe.

L'hypothèse de la sélection sexuelle prédit que les mâles aux cous les plus longs et les plus larges sont sélectionnés par les femelles, et ils permettent aux mâles de battre leurs rivaux lors des combats. Ceci est confirmé par l'observation des combats entre mâles (Pratt & Anderson, 1985).

Une étude de paternité permettrait de confirmer le lien entre gros cou et succès d'appariement.

L'hypothèse de la sélection sexuelle prévoit que les mâles ont proportionnellement un plus gros cou que les femelles, alors que l'hypothèse de la sélection alimentaire non. Mitchell et al. (2009) rejettent l'hypothèse de la sélection sexuelle, car leurs mesures montrent qu'une fois la masse corporelle prise en compte, la taille des cous est équivalente chez les mâles et les femelles. Ils admettent néanmoins que les mâles ont proportionnellement un cou plus large et plus lourd. Or, l'hypothèse de la sélection sexuelle prédit que le poids multiplié par la longueur des cous des mâles est supérieur à celui des femelles. En effet, la force développée par celui-ci est proportionnelle à la taille multipliée par la masse (moment de la force). Ainsi, le constat : « les mâles ont proportionnellement un cou plus lourd et de taille égale que les femelles » supporte l'hypothèse de la sélection sexuelle (Simmons & Altwegg, 2010). A mon sens, l'interprétation de Mitchell et al. (2009) est fautive, et il existe de nombreux arguments qui plaident en faveur d'une sélection sexuelle forte chez les mâles pour expliquer la taille de leur cou.

c. Prédation

La prédation sur les girafes s'applique fortement sur les jeunes, en particulier la première année de vie. Les lions, les crocodiles du Nil, les léopards, les hyènes tachetées, et les lycaons sont des prédateurs potentiels, mais le lion est de loin le prédateur principal (Dagg & Foster, 1976). Au Kruger, 99% des girafes prédatées, le sont par des lions (Dagg, 1971). Dans ce parc, la girafe constitue entre 32 et 43% du régime alimentaire des lions, et concerne aussi des individus adultes (Owen Smith, 2008).

d. Rythme d'activité

La recherche d'alimentation est l'activité dominante chez les girafes (Fennessy, 2004; Dagg & Foster, 1976). Pendant la journée, le rythme d'activité semble diphasique (en particulier chez les girafes des régions arides comme au Niger et en Namibie). Schématiquement, les girafes s'alimentent à toutes les heures de la journée, en particulier à l'aube et au crépuscule, et se reposent plus aux heures chaudes (Fennessy, 2004). Ceci est cohérent avec une des tactiques de régulation thermiques qui visent à diminuer les pertes d'énergie pendant les heures les plus chaudes de la journée (e.g. Mitchel, 1977; Pellew, 1984a).

Toutes les études sur les rythmes d'activité des girafes ont eu lieu le jour. Pourtant, les études en captivité des girafes montrent qu'elles dorment très peu: 4.6 heures par jour au total, sur des périodes de 1 à 35 minutes (Tobler & Schwierin 1996). Ainsi, nous avons toutes les raisons de penser que l'activité des girafes sauvages est aussi importante la nuit, eu égard au temps de sommeil, et compte-tenu des tactiques de régulation thermiques. Certains auteurs supputent par ailleurs que les girafes réduisent probablement leur activité d'alimentation et de déplacement la nuit en réponse à la prédation (Pellew, 1984a).

Certains auteurs pensent que la girafe boit régulièrement (Cully, 1958; Dagg et Foster, 1976), alors que d'autres pensent qu'elle est indépendante de l'eau (Ciofolo & Le Pendu, 2002; Fennessy, 2004). Cette *a priori* indépendance vis-à-vis de l'eau a été attribuée à la sélectivité alimentaire des girafes qui choisissent les feuilles jeunes, en particulier d'acacias, riche en eau (Hall-Martin & Basson, 1975; Dagg & Foster, 1976). De façon intéressante, ce sont les populations de girafes vivant dans les régions les plus arides où les girafes ne sont quasiment jamais observées en train de boire (Ciofolo & Le Pendu, 2002; Fennessy, 2004). Au Niger, les girafes ont été observées en train de boire pendant 0.03% de leur temps d'activité la journée

(Ciofolo, 1998). Ainsi, pour les populations de Namibie et du Niger, il est suspecté que les girafes boivent la nuit, mais cela n'a jamais été vérifié.

e. Un régime alimentaire sélectif ?

Chez les herbivores, il existe 2 grands types de tactique alimentaire : les browsers (les cueilleurs, ils se nourrissent essentiellement de feuilles), et les grazers (les paiseurs, ils se nourrissent essentiellement de graminées). Il existe une troisième classe au régime alimentaire mixte: les « intermediate feeders ». Les paiseurs ont une alimentation disponible en grande quantité et peu riche en énergie digestible (Hofmann, 1989). Les cueilleurs ingèrent essentiellement des feuilles, plus riches en énergie digestible que les graminées (qui par exemple ont de plus fort taux de fibres que les feuilles, Codron et al. 2007), mais plus dispersées (Perez-Barberia & Gordon, 1999). Il est suggéré que les caractéristiques chimiques des graminées et des feuilles sont le principal déterminant des tactiques nutritionnelles des paiseurs et des cueilleurs. Les différences de style d'alimentation chez les cueilleurs et les paiseurs ont conduit à des adaptations morphologiques et physiologiques en lien avec les caractéristiques chimiques de leur régime alimentaire (e.g. taille de rumen, dentition, Hofmann, 1989). Les petits herbivores sont très sélectifs sur la ressource (Jarman, 1974) et choisiront une alimentation de haute qualité. A l'inverse, les grands herbivores ont une alimentation moins sélective, et supportent de la nourriture de moins bonne qualité comme une alimentation riche en fibre, peu digeste (e.g. composés métaboliques secondaires comme les tannins), mais disponible en grande quantité.

En accord avec les relations allométriques chez les herbivores, les petites espèces auront plutôt tendance à être des cueilleurs, et les grandes, des paiseurs. Il existe cependant quelques exceptions (Owen-Smith, 1988). L'exemple le plus extrême est sans doute la girafe qui est à la fois un méga-herbivore et un cueilleur quasi strict, car très peu d'herbacées sont consommées. Malgré sa grande taille, la girafe est très sélective, sur la partie de la plante consommée. Au Niger, 85% de l'alimentation est constitué de feuilles, et 10% de bourgeons/tiges (Ciofolo, 1998). Les girafes consomment environ 30 kg de matière fraîche par jour. Par ailleurs, un spectre important de genres de plantes sont consommées par les girafes en Afrique, reflétant ainsi la capacité des girafes à exploiter des habitats variés (Dagg & Foster, 1976; Pellew, 1983). Ainsi, on peut dire de la girafe que c'est un animal sélectif (sur la partie de la plante) et généraliste (large spectre de plantes consommées). Au Tsavo (Kenya), 66 variétés de plantes sont consommées par

les girafes (Leuthold & Leuthold, 1972). Cependant les acacias représentent une part importante du régime alimentaire (Dagg et Foster, 1976). Au Niger, le régime alimentaire des girafes a été décrit comme comprenant 45 espèces d'arbres et arbustes (Ciofolo, 1998). Une autre étude rapporte que les girafes consomment 30 espèces dont 20 pendant la saison des pluies et 21 pendant la saison sèche (Morou, 2010). La sélection des variétés de plante semble se faire en fonction de la phénologie, on observe donc un « shift » des variétés consommées en fonction de la saison. Les quatre espèces particulièrement consommées sont: *Acacia ataxacantha* et *Acacia macrostachya* pendant la saison des pluies, et *Faidherbia albida* (précédemment nommé *Acacia albida*) and *Combretum glutinosum* pendant la saison sèche. Ces deux dernières espèces représentant à elles seules la moitié du temps d'alimentation (Morou, 2010). Une ségrégation sexuelle dans les espèces consommées est observée dans plusieurs populations de girafes (Ginnet, 1997, Morou, 2010). De plus le statut reproducteur des girafes semble jouer un rôle important dans la sélectivité alimentaire, les femelles gestantes évitant les feuilles à forte concentration en tannins (Caister et al. 2003).

f. Socialité

Le système social de la girafe est décrit comme non territorial, et extrêmement flexible. Ainsi, on observe un fort chevauchement de domaines vitaux individuels (e.g. Dagg & Foster, 1976; Le Pendu et al. 2000). Cependant, les mécanismes régissant la modification de la taille des troupes n'est pas connu. On ignore toujours si les troupes résultent d'une association au hasard, ou s'ils sont structurés en réseaux sociaux (Bercovitch & Berry, 2010). Les troupes de girafes vont de 1 jusqu'à 40 individus (Ciofolo & Le Pendu, 2002). Les troupes peuvent changer en nombre et en composition plusieurs fois par jour (système fusion/fission, Berry, 1973). Ainsi, la girafe est un modèle idéal pour étudier comment les variables écologiques contribuent aux fluctuations de la taille des troupes (Bercovitch & Berry, 2010). Par contre, étudier la taille du domaine vital d'un troupeau n'a pas de sens, celui-ci évoluant continuellement (Kawa, 2000). Toutes les combinaisons de classe d'âge et de sexe semblent possibles dans un troupeau de girafes. Néanmoins, les individus solitaires sont essentiellement des mâles adultes allant d'un troupeau à un autre à la recherche de partenaire (Dagg & Foster, 1976; Fennessy, 2004). Le seul lien social fort apparent, concerne la mère et son jeune pendant la première année de sa vie (Le Pendu et al. 2000; van der Jeugd & Prins, 2000).

g. Identification

Chaque girafe a un patron de taches qui lui est propre et qui ne varie pas au cours de la vie, à l'image des empreintes digitales humaines. La girafe est donc un modèle idéal pour les études démographiques, chez les grands mammifères, grâce à la photo-identification individuelle. Il n'est donc pas nécessaire de capturer physiquement l'animal pour l'identifier. Pour les difficultés liées à la capture des girafes, voir partie « mise en place des colliers émetteurs », partie 4. Pour les détails sur la photo-identification, voir la partie dédiée photo-identification (partie 3).

2. Une histoire de la taxonomie des girafes.

Les Girafoïdes forment une super-famille de mammifères ruminants.

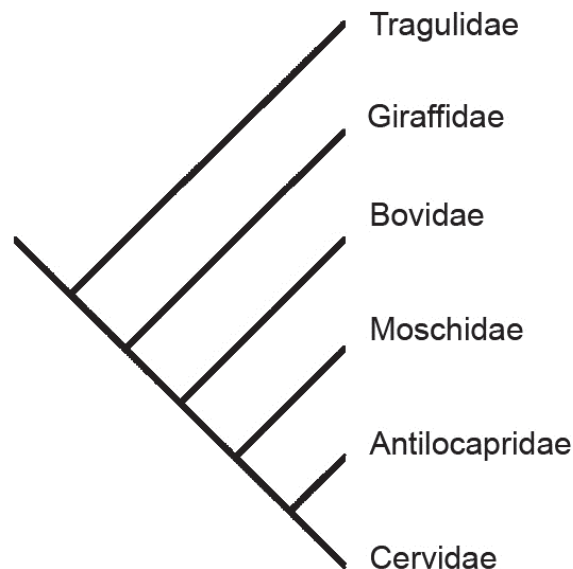


Figure 3 Arbre phylogénétique des familles de ruminants (d'après Janis & Scott 1987).

Dans la famille des Giraffidés, il existe d'après la nomenclature actuelle, 2 espèces: la girafe, *Giraffa camelopardalis*, et l'okapi, *Okapia johnstoni* (Pellew, 1984b). Le plus ancien specimen de giraffidae a été découvert en Lybie et date du Miocène.

La taxonomie des girafes, comme celle de nombreuses espèces, a beaucoup évolué en fonction des auteurs car elle se base sur des critères essentiellement phénotypiques et géographiques, donc soumis à des interprétations multiples. Les principales variations phénotypiques ayant conduit à

définir des sous-espèces sont essentiellement: la forme des taches, du crâne, la couleur de la robe ou encore le nombre de cornes. Ainsi, le nombre de taxons de girafes à distinguer a varié. S'il est reconnu, pour le moment, qu'il existe une espèce de girafe et 9 sous-espèces, on a compté jusqu'à 23 noms de sous-espèces de girafes. Des populations d'une espèce largement distribuée vivent dans des conditions environnementales différentes et sont soumises à des pressions de sélection variables. Ainsi, une sous-espèce est une unité taxonomique définie comme une sous-unité de l'espèce distincte phénotypiquement ayant une distribution géographique restreinte, et dont les variations phénotypiques sont la conséquence d'une évolution différentielle ou de processus écologiques, mais sont inter-fertiles.

Linné, dans *Systema Natura*, a décrit pour la première fois en 1758 la girafe en se basant sur les travaux de Belon qui avait vu deux cents ans plus tôt une girafe captive au Caire. N'ayant pas d'élément de comparaison, Linné classe la girafe avec l'élan américain et le cerf qui appartient au genre *Cervus*. Suivant cette logique, le premier nom scientifique de la girafe était *Cervus camelopardalis*. En 1762, Brisson renomme la girafe: *Giraffa giraffa*, mais sa proposition est rejetée pour des questions de nomenclatures. Cependant, le genre *Giraffa* demeure (International Commission on Zoological Nomenclature, 1998). *Giraffa* dérive du mot arabe Zarafa qui désigne à la fois la girafe et le mot « charmante ». Brünnich (1848) modifie le nom pour *Giraffa camelopardalis* qui est d'usage aujourd'hui. Le nom d'espèce *camelopardalis* (camelopard) dérive de son ancien nom romain apparu au 14^{ème} siècle où l'animal a été décrit comme un mélange entre le chameau (camel) et un léopard. L'anatomiste français, St Hilaire en 1827 étudie et accompagne à pied de Marseille à Paris « Zarafa », une girafe en provenance du Soudan offerte au roi de France, Charles X, par le vice-roi d'Égypte, Méhémet Ali. St Hilaire se base sur les études de Levaillant du Muséum d'Histoire Naturelle de Paris portant sur d'autres spécimens de girafes (Allin, 1998), et conclut qu'il existe 2 espèces de girafes (critères géographiques). Owen (1868), le célèbre anatomiste anglais, suit cette idée en séparant girafes du Nord et du Sud de l'Afrique. De nombreux auteurs comme Ogilby (1836), Sundevall (1842), et Swaison (1835) pensent quant à eux qu'il s'agit en fait de variations d'une seule espèce.

Thomas (1898) sera le premier à décrire la girafe d'Afrique de l'Ouest. Il lui donne le nom de *Giraffa camelopardalis peralta* - mettant ainsi en avant la supposée exceptionnelle taille de la sous-espèce. En 1904, Lydekker suivra les travaux de Thomas qui considère qu'il existe 2 espèces de girafes mettant à part la girafe réticulée du fait de la forme de ses taches très

différentes des autres (critères phénotypiques). Ainsi il reconnaît la girafe réticulée (*Giraffa reticulata*) et la girafe « tachetée » (*Giraffa camelopardalis*) qu'il subdivise en 10 sous-espèces. La confusion sur la taxonomie de la girafe continue (e.g. Dollman, 1929; Scott, 1959; Kingdon, 1997). La classification toujours en vigueur aujourd'hui date de 1971. Dagg considère que la girafe est un genre monospécifique avec 9 sous-espèces. Inclure toutes les girafes dans une seule espèce est cohérent avec le concept d'espèce (Mayr, 1942) car toutes les girafes sont susceptibles de se croiser et de produire des descendants viables. Les 9 sous-espèces sont *angolensis* (girafe d'Angola), *antiquorum* (girafe Kordofan), *camelopardalis* (giraffe de Nubie), *giraffa* (giraffe d'Afrique du Sud), *peralta* (Giraffe du Niger/ girafe d'Afrique de l'Ouest), *reticulata* (girafe réticulée), *rothschildi* (girafe Rothschild/ girafe d'Uganda), *thornicrofti* (girafe Thornicroft), et *tippelskirchi* (girafe Masaï).

En 1999, East a proposé une nouvelle nomenclature avec 6 sous-espèces à partir de critères essentiellement géographiques (Figure 4), mais il admet lui-même que ce découpage est arbitraire. C'est à partir de ses travaux que l'UICN classe les girafes en 6 catégories. Ainsi, les sous-espèces *reticulata*, *thornicrofti*, and *tippelskirchi*, restent acceptées dans cette classification, mais un nouveau groupe est constitué en Afrique de l'Ouest regroupant les *antiquorum* et les *peralta* en argumentant qu'il n'existe pas de barrière géographique entre ces 2 supposées sous-espèces. De la même façon, les girafes *camelopardalis* et *rothschildi* sont associées, et un groupe du sud est composé des *angolensis* et des *giraffa*.

En 2007, Hassanin remet en cause la classification des girafes, cette fois à partir d'une étude génétique. Il s'attache en particulier à remettre en question la classification des girafes d'Afrique de l'Ouest et Centrale. Jusqu'alors, les populations du Niger et du Cameroun étaient généralement classées dans la sous-espèce *peralta*. Par ailleurs, le statut taxonomique des girafes du Tchad et de la République centrafricaine était controversé, puisque ces populations étaient rattachées selon les auteurs à trois sous-espèces différentes (*peralta*, *antiquorum*, ou *congoensis*). D'après cette étude, la sous-espèce *peralta* correspond uniquement à la girafe du Niger, alors que la sous-espèce *antiquorum* regroupe toutes les populations vivant au Cameroun, au Tchad, en République centrafricaine et dans le Sud-Ouest du Soudan. De façon surprenante les *peralta* seraient plus proches génétiquement des *rothschildi* et *reticulata* (Afrique de l'Est) que des *antiquorum* (Afrique Centrale). L'autre conclusion majeure de l'étude d'Hassanin qui a porté sur

l'analyse d'ADN d'un mélange d'individus sauvages et élevés en captivité, est que contrairement à ce qu'ont affiché de nombreux zoos européens, il n'existe aucune girafe *peralta* en captivité.

La même année, Brown (2007) qui a étudié la classification des girafes à partir de critères morphologiques, géographiques et génétiques, confirme la proximité génétique entre les *peralta* et les *rothschildi*. Il propose une classification des girafes avec 6 espèces (et non sous-espèces) du fait de leur isolement reproductif. Selon cette classification, les *peralta* seraient une espèce à part entière.

Aujourd'hui, la classification en vigueur reconnue internationalement et par l'IUCN, est celle de Dagg (1971). La girafe est une espèce répartie en 9 sous-espèces. Cependant, la dénomination de certaines populations, donc le nombre et la distribution des populations que composent les sous-espèces de girafes a changé. En particulier, Dagg considérait que les *peralta* étaient représentées par les girafes du Niger du Cameroun et du Tchad. Depuis les travaux de Hassanin, les girafes *peralta* ne sont plus représentées que par les girafes du Niger. Les travaux préliminaires à cette thèse montrent que les girafes du Niger étaient au nombre d'environ 200 en 2008, avec une distribution très limitée. Sur cette base, en 2008, les girafes *peralta*, ont été la première sous-espèce de girafes considérée officiellement comme « En Danger » selon les critères de la liste rouge de l'UICN (Fennessy & Brown, 2008).

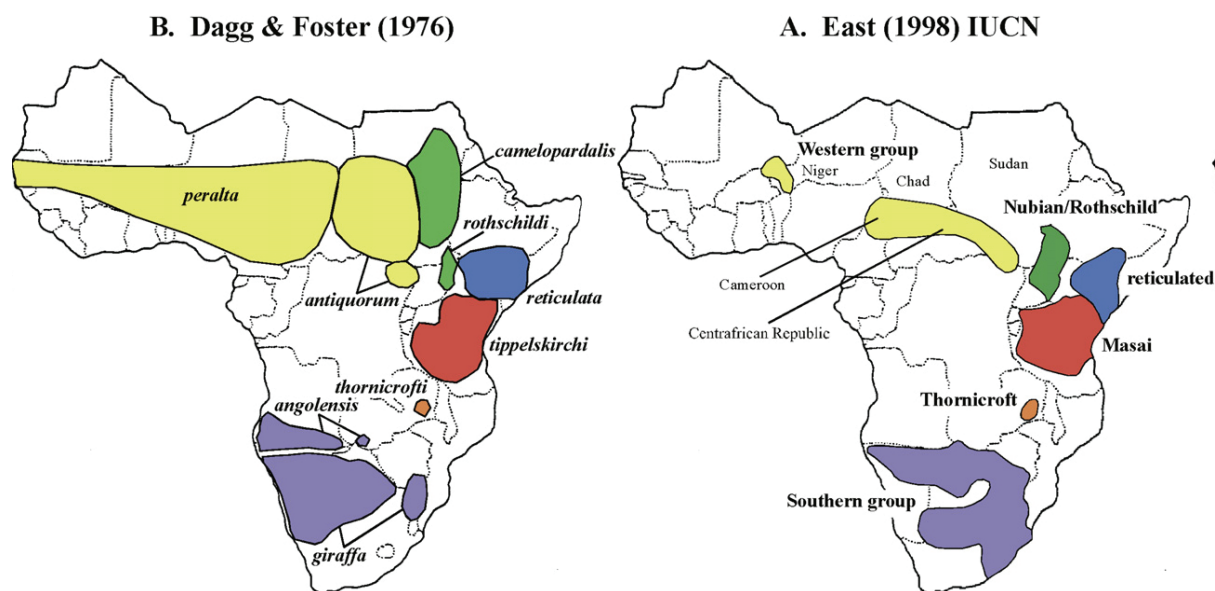


Figure 4 Distribution historique des girafes (Dagg & Foster, 1976) et distribution des girafes à la fin du XX^{ème} siècle, (East, 1999), d'après Hassanin, 2007.

East propose une distribution des girafes à la fin des années 90 qui montre très clairement une réduction de la distribution des girafes, en particulier en Afrique de l'Ouest.

Les cartes proposées par Sidney (1965), Kingdon (1979), et Skinner & Smithers (1990) confirment cette tendance progressive de très forte diminution de la distribution des girafes en Afrique, et de façon spectaculaire en Afrique de l'Ouest.

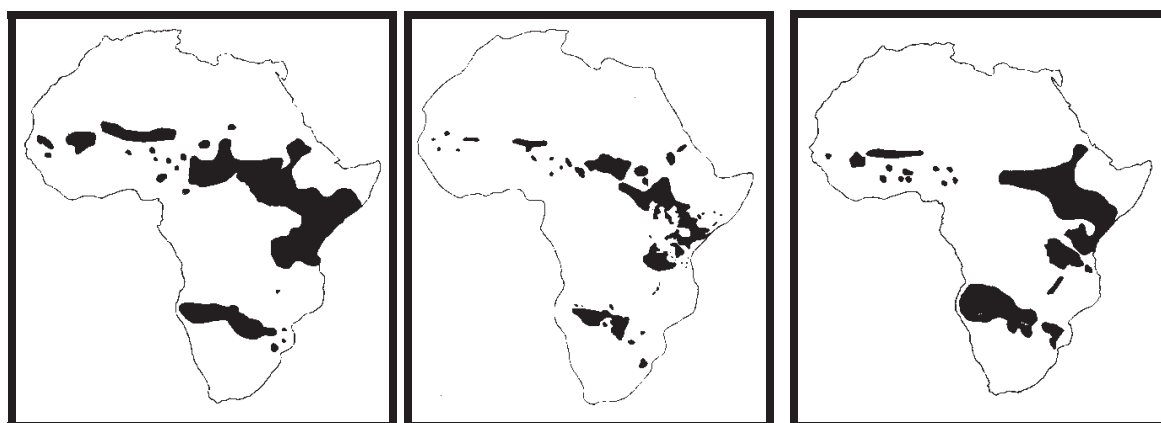


Figure 5 Distribution des girafes d'après Sidney (1965), Kingdon (1979), et Skinner & Smithers (1990)

3. Distribution historique des girafes de l'Afrique de l'Ouest.

Au paléolithique, les girafes sont distribuées dans une grande partie de l'Ouest et la quasi-totalité du Nord de l'Afrique, jusqu'aux rives de la Méditerranée (Mauny, 1957). Hassanin suggère qu'une dispersion de l'ancêtre de la girafe *peralta* à partir de l'Afrique de l'Est vers l'Afrique du Nord au cours de l'ère Quaternaire, suivie d'une migration vers le sud, pour finalement occuper sa distribution actuelle en Afrique de l'Ouest. Cette hypothèse implique que le lac Méga-Tchad fut une importante barrière géographique durant l'Holocène, qui a empêché tout contact entre les sous-espèces *peralta* et *antiquorum*.

Il y a 10 000 ans, des peintures rupestres de girafes ont été dessinées dans le désert Lybien et en Afrique du Nord où s'étend désormais le désert du Sahara (Monod, 1963). En 600 A.C. les girafes étaient encore présentes au Maroc (Schomber & Kock, 1961). En 1850, des girafes étaient observées dans la région de l'Aïr à l'extrême Est du Niger (Barth, 1858, in Dagg & Foster 1976), région fertile à cette époque, devenue aujourd'hui désertique.

Les girafes sont encore largement représentées en Afrique de l'Ouest au début du XX^{ème} siècle (Sénégal, Gambie, Mauritanie, Mali, Niger, Nigéria). Au cours du XX^{ème} siècle, les girafes disparaissent rapidement d'Afrique de l'Ouest dans tous les pays sauf au Niger. Des centaines de girafes vivaient au Niger dans les années 70 (Poché, 1976). A cette époque, elles étaient principalement observées entre Tillabery et Ayorou, le long du fleuve Niger au sud de la frontière avec le Mali, et d'importants troupeaux se situaient à Tanout, entre Zinder et Agadez, et dans la région d'Ayorou (Happold, 1978). Elles restèrent dans cette région jusqu' en 1982 (Ciofolo, 1990). Les Touaregs d'Ayorou se déplaçant vers le Dallol Bosso nord, eux-mêmes se trouvant en transhumance vers cette région à cette époque, observèrent ce changement de distribution des girafes. Par ailleurs, les girafes de Gaya, Ouna et Boumba se cantonnèrent progressivement, à l'exception de quelques individus, dans la région de Kollo, puis dans celle de Koure et du Dallol Bosso nord à partie des années 90 (Ciofolo, 1990 et 1991).

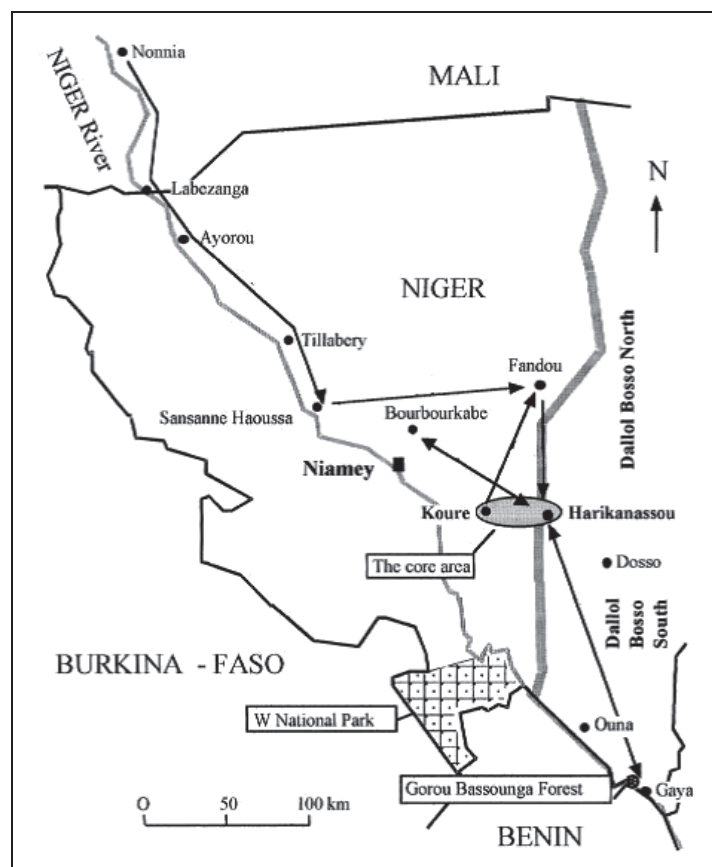


Figure 6 Migrations des girafes observées en 1995-1996 (d'après Ciofolo, 1998)

4. Les causes d'une telle disparition

Les changements climatiques et la désertification de certaines régions d'Afrique du Nord comme le Maroc ont eu un impact important sur la disparition et la distribution des girafes. Ainsi, l'extension du désert du Sahara a poussé les girafes vers le Sud vers 600 A.C. (Hassanin, 2007). La désertification a été accentuée déjà à l'époque par les pratiques agricoles qui ont conduit à la coupe des arbres et de la brousse pour laisser place à des cultures. Les sols perdirent en grande partie leur capacité à retenir les pluies (Monod, 1963). Dekeyser rapporte en 1960 que les girafes étaient présentes en nombre important en Afrique de l'Ouest, mais que les sécheresses des dernières années les ont conduites à l'extinction. De la même façon, à la fin du XIXème, la désertification de l'Aïr, qui était une région fertile avec une végétation tropicale, a conduit à la disparition des girafes.

En plus de ces facteurs climatiques, depuis le début du XXème siècle le facteur humain est sans aucun doute la plus importante cause de disparition des girafes. L'introduction des armes à feu en Afrique a considérablement accéléré le processus (Lhote, 1946). Dans les années 50, les girafes sont massacrées en masse par des militaires (Blancou, 1960), mais aussi par des chasseurs. La peau et la queue des girafes étaient particulièrement prisées. La queue des girafes étaient souvent signe de pouvoir et prospérité dans certaines ethnies. D'autre part, la girafe est une source de protéine importante dans des régions souvent très pauvres. Une girafe adulte produit plusieurs centaines de kilos de viande. C'est au Serengeti, la deuxième espèce la plus braconnée après le buffle. La fragmentation et la destruction de l'habitat en parallèle de l'augmentation des populations humaines et des pratiques agricoles sont aussi une cause majeure de la disparition des girafes en Afrique de l'Ouest (Mauny, 1957).

Au Niger, vraisemblablement contraintes par le braconnage intensif sévissant à la frontière malienne et par le début de la grande sécheresse de 1984, elles disparurent brusquement (Ciofolo, 1995). En 1995, la population compte 62 individus, et en 1996 elle atteint son seuil le plus bas jamais enregistré et tombe à 50 individus (Ciofolo, 1998). La cause de mortalité principale entre 1995 et 1996 s'explique par les tentatives de captures ordonnées par le Président de la République dans le but d'offrir 2 girafons à son homologue Togolais, entre le 2 avril et le 29 août 1996 (Saadou, 1996). Aujourd'hui, la persistance des girafes au Niger est menacée par la compétition (directe, indirecte ou latente) pour les ressources qui engendre parfois des conflits avec les hommes et leur bétail (Leroy et al. 2009). L'habitat de la girafe, notamment la brousse

tigrée, a subi une forte régression au cours des trente dernières années particulièrement pour les formations du plateau de Kouré (Abdou, 2005). La brousse tigrée est menacée en premier lieu par la coupe de bois et ensuite, et de manière croissante, par les enclaves agricoles. La déforestation, la vente du bois, et les besoins accrus des populations locales sont les causes de la dégradation de l'habitat des girafes. Le braconnage a aujourd'hui quasiment disparu, mais reste toujours une sérieuse menace potentielle.

5. Une population en sursis

Entre 1996 et 1999, la population de girafes a augmenté rapidement (Ciofolo et al. 2000). Les comptages girafes dont j'ai assuré l'encadrement scientifique de 2005 à 2009 confirment cette tendance.

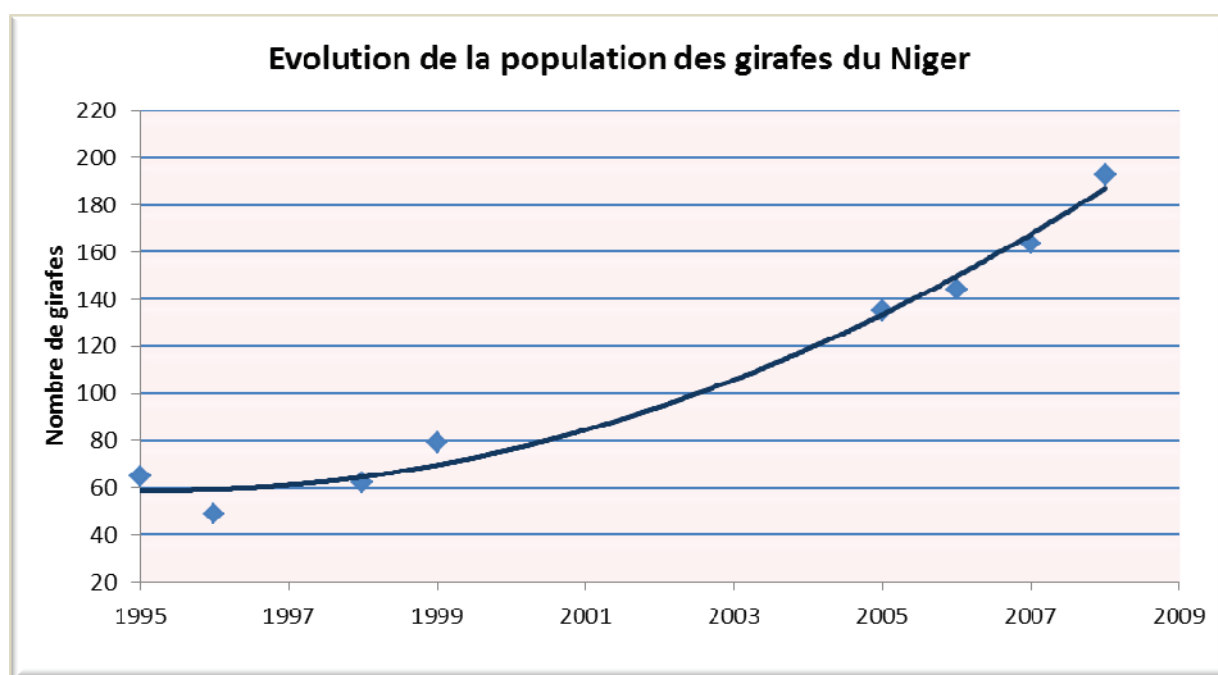


Figure 7 Evolution de la population des girafes d'Afrique de l'Ouest de 1995 à 2008 d'après les recensements effectués par photo-identification

6. La place de la girafe dans la culture

La taille exceptionnelle de la girafe et son élégance ont toujours fasciné l'homme. Jules César en fit un symbole de ses conquêtes africaines; au XVe siècle, les princes florentins comme l'empereur de Chine en agrémentèrent leurs jardins. Dans toute l'Afrique, on a retrouvé des bas-

reliefs représentant la girafe. De très anciennes peintures rupestres mises à jour dans le désert du Sahara représentent des girafes attaquées à l'arc et à la lance par les indigènes. Chez les Arabes du Soudan, si un cavalier arrivait à battre à la course une girafe, deux fois le même jour, il devenait "digne d'un roi". Un chasseur qui réussissait à tuer une girafe méritait le respect de tous. Dans certaines tribus, la queue de la girafe était un attribut de pouvoir pour les chefs de haut rang. (Battaglia, 2005). La girafe avait donc une valeur symbolique forte en Afrique. Apparemment, aujourd'hui, ce n'est pas les cas en Afrique de l'Ouest. En effet, en Afrique de l'Ouest, la cohabitation dans les années 90 avec les villageois ne semblait pas poser de problèmes: agriculteurs / éleveurs et girafes vivaient en paix côte à côte, malgré quelques plaintes de dégâts des girafes sur les cultures, en particulier les mangues (Ciofolo, 1995). Cette cohabitation pacifique semble se dégrader progressivement entre les années 1990 et 2000 (Birck, 2001). La girafe en Afrique de l'Ouest a perdu sa valeur symbolique dont elle semblait jouir autrefois, et dont elle bénéficie dans d'autres parties de l'Afrique. Dans les sociétés Zarma et Haussa du Niger, deux grandes catégories structurent le monde animal: ceux « de brousse » et ceux « de maison ». La girafe n'appartient aujourd'hui ni à l'une ni à l'autre car « on ne peut pas la chasser » et, contrairement au cheptel, « on ne lui donne ni à manger ni à boire et on ne peut ni la manger ni la vendre » (Luxereau, 2004). La girafe est devenue progressivement un animal inutile dans l'esprit de nombreux villageois. Pire encore, elle est considérée par un nombre croissant d'agriculteurs comme nuisible, car elle s'attaque aux cultures: au haricot (niebe) et aux manguiers. Cela n'est évidemment pas sans conséquence sur la perception des villageois sur la girafe, et des conflits apparaissent (Birck, 2001). Bien que les dégâts réels des girafes soient difficiles à quantifier, la perception négative des girafes s'intensifie dans les années 2000. La « patrimonialisation » de la girafe en Afrique de l'Ouest a été impulsée par une vision de l'occident de la protection de la biodiversité. Cette vision ne semble pas ou peu partagée par les villageois qui cohabitent avec les girafes (Boureïma, 2006). Cependant, des programmes de conservation de la girafe tentent de faire évoluer l'image de la girafe, et de montrer que celle-ci n'est pas un animal nuisible - destruction des récoltes - mais une potentielle source de revenus à travers l'écotourisme ou la mise en place d'activité génératrice de revenus, (e.g. les micro-crédits destinés à la création de petits commerces) et finalement, une chance pour les villageois (Ciofolo, 1998; ASGN, 2008).

B. Le site d'étude

1. Le Niger

Le Niger est un pays enclavé de l'Afrique de l'Ouest limité à l'Est par le Tchad, à l'Ouest par le Mali et le Burkina Faso, au Sud par le Nigéria et le Bénin et au Nord par la Lybie et l'Algérie. Il couvre 1.267.000 km². La population du Niger est estimée à plus de 13 millions d'habitants, avec un taux d'accroissement annuel d'environ 3 %. Le taux de fécondité est le plus élevé au monde avec 7,7 enfants par femme en 2010. L'espérance de vie est de 43 ans pour les hommes et les femmes. L'indice de Développement Humain (Indice qui intègre la santé, l'éducation et le PIB par habitant) place le pays au rang de 167 sur 169 en 2010.



Figure 8 Carte du Niger (en rouge le cœur de la zone girafe)

La « zone girafe », aussi appelée « cœur de la zone girafes » est inscrite comme zone de transition de la Réserve de Biosphère du complexe du W du Niger par l'UNESCO et le Gouvernement du Niger (1997). Elle a été définie à partir des observations des girafes en 1994-1995.

2. Climat

Le climat est de type Soudano-Sahélien avec des précipitations moyennes annuelles comprises entre 400 and 500 mm. Il existe 2 saisons principales fortement marquées. La saison des pluies entre juin et octobre, et la saison sèche entre novembre et mai. La moyenne des températures est élevée avec un minimum en janvier (16°C) et un maximum en avril-mai (jusqu'à 42°C de moyenne).

Le cœur de la « zone girafes » est constitué de 3 zones principales: le plateau de Kouré, le Dallol Bosso Nord, et la Zone Intermédiaire qui lie ces deux zones. Dans chacune de ces zones la végétation est partiellement dégradée du fait des activités humaines, et on compte de nombreuses enclaves agricoles.

3. Le cœur de la zone girafes

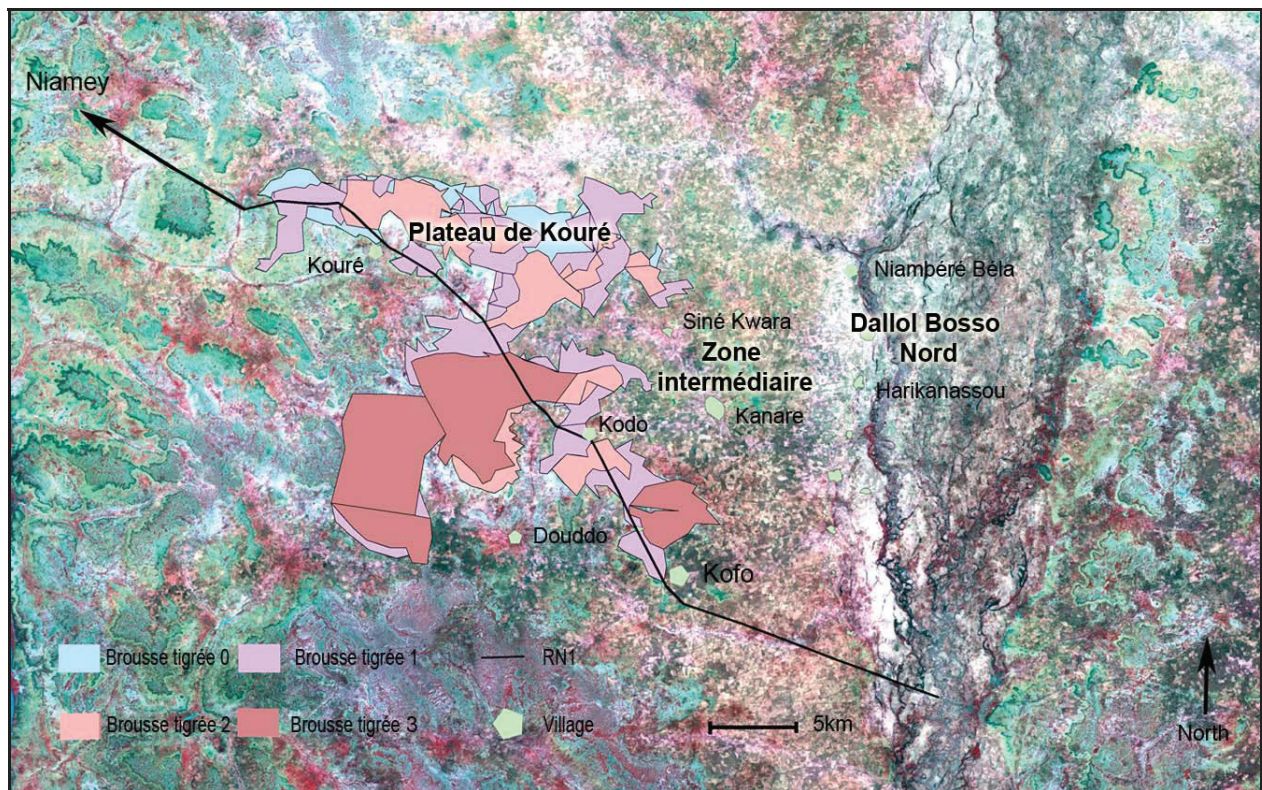


Figure 9 Carte du cœur de la zone girafes comprenant 3 zones : le plateau de Kouré recouvert de brousse tigrée (Brousse tigrée numérotée de 0 à 3 suivant la densité), la zone intermédiaire, et le Dallol Bosso Nord)

a. Le plateau de Kouré

Les plateaux cuirassés caractérisent la zone des plateaux sur lesquels se développent les sols reliques à faciès ferrugineux, peu épais et relativement riches en argile. Sur ces sols se développe la brousse tigrée qui alterne avec de nombreux champs essentiellement de mil, sorgho, haricot. En saison des pluies, le plateau de Kouré abrite de nombreuses mares temporaires. La brousse tigrée est bien adaptée au climat sahélien. Sa végétation est caractérisée par un réseau de bosquets arbustifs séparés par des bandes sans végétation (Saadou, 1984 ; Ambouta, 1984) et est dominée par des Combretaceae (e.g. *Guiera senegalensis*), *Combretum*, Mimosaceae et Capparidaceae (e.g. *Acacia ataxacantha*, *Acacia macrostachya*) (Saadou, 1996).

b. Le Dallol Bosso Nord

Le Dallol Bosso Nord est constitué de l'ancien bras du fleuve Niger fossilisé, où l'eau de surface affleure pendant la saison des pluies et est souterraine pendant la saison sèche. De ce fait, et grâce à un sol relativement riche, le Dallol attire la présence humaine (Decalo, 1979). Dans les chenaux profonds caractéristiques du Dallol et où l'eau affleure, les sols deviennent plus hydromorphes avec localement des plages de sols salés exploitées pour l'extraction du natron qui sert entre autres d'apport en sels minéraux pour les animaux domestiques. La végétation du Nord Dallo Bosso est dominée par des essences d'arbres (*Combretum glutinosum*, *Faidherbia albida*, *Balanites aegyptiaca*, *Annona senegalensis*, *Prosopis africana*) et arbustifs (*Guiera senegalensis*).

c. La zone intermédiaire

La zone Intermédiaire a un sol dégradé qui disparaît du fait de la déforestation (Ambouta, 1984). Sa végétation est essentiellement composée des mêmes essences que dans le Dallol Bosso Nord, mais à des densités plus faibles car le sol est de moins bonne qualité.

4. Les habitants de la zone girafes

Les agriculteurs sédentaires regroupés en villages sont en majorité des Zarmas. Par ailleurs, des communautés parfois isolées Peules et Touarègues pratiquent l'agriculture et l'élevage. La zone girafe est une des aires les plus peuplées du Niger avec 35 hab/km² sur le plateau de Kouré, et 70 hab/km² dans les Dallols contre 10 hab/km² en moyenne dans le pays. La démographie humaine est extrêmement rapide au Niger, en particulier dans les campagnes. De plus, le flux migratoire est important car la zone est propice aux activités agricoles. Ainsi, le canton de Kouré est passé de 36000 habitants en 1998 à 47000 en 2001. Les villageois pratiquent une agriculture de subsistance et un élevage extensif. Cette agriculture est essentiellement de type pluvial et se pratique sur le mil, le sorgho, le niébé. Les sols étant essentiellement pauvres, les rendements sont faibles ce qui instaure une insécurité alimentaire. Cette insécurité alimentaire est atténuée dans le Dallol du fait de la disponibilité d'importantes ressources hydriques qui favorisent le développement du jardinage, et des cultures de contre saison. Ainsi, le long des Dallols, le nombre et la taille de villages augmentent (Ambouta, 2006).

Les sécheresses successives de 1972 à 1973, puis de 1983 à 1984, ont décimé près de 50 % du cheptel de bovins, ovins et caprins au niveau national. Dans la zone girafe, l'élevage est pratiqué par toutes les populations quel que soit le groupe socio-culturel. Il représente la seconde activité pratiquée après l'agriculture. Le cheptel est composé essentiellement de bovins, ovins et caprins. La plupart des familles disposent de petits ruminants et parfois possèdent de 5 à 6 vaches (Nouhou, 2005). L'effectif du cheptel a connu dans la zone une nette progression. Entre 1990 et 1999, le cheptel a progressé de 2,02 Unité Tropicale Bétail (UBT) par an dans le cœur de la zone girafe (Seydou, 2000).

L'exploitation des ressources forestières est en plein essor en réponse à une forte augmentation de la demande en bois de Niamey, où la grande majorité de la population continue de cuisiner au bois. La forte densité humaine, la surexploitation des terres, l'érosion éolienne et hydrique, la dégradation des pâturages naturels et la déforestation accélérée entraînent la dégradation du couvert végétal et des sols (Morou, 2010). Les paysans compensent le faible rendement agricole par l'extension des surfaces cultivées au détriment de la jachère, des zones de pâturage et des brousses tigrées (Ciofolo, 1998). On assiste ainsi à une dégradation accélérée de l'habitat avec la disparition des ligneux, la réduction du nombre d'espèces et du couvert végétal (Ambouta, 2006).

5. Autres mammifères ?

A part les girafes et les animaux domestiques, on observe un très faible nombre, et une faible diversité d'autres mammifères. Seuls quelques lièvres, écureuils, et de rares chacals sont présents et cohabitent avec les girafes (Barragé, 2004).

Partie III

Dynamique de la population des girafes



A. Les comptages d'animaux sauvages

1. Compter comment et pour quoi faire ?

L'obtention de données justes et précises sur l'effectif de population est un travail essentiel lors de la mise en place d'un plan de gestion ou pour conserver une espèce en danger (Guschanski al. 2009; Kremen et al. 1994). Les recensements d'animaux sauvages peuvent répondre à des questions telles que : Est-ce que la population est en déclin ? Est-ce que la politique de gestion a été un succès ? (Sutherland, 1999; Morellet et al. 2007). Les méthodes de recensements d'animaux sont très nombreuses (pour une revue, voir par exemple Buckland et al. 2001; Schwarz & Seber, 1999). Ces méthodes doivent être choisies pour répondre à un objectif particulier, et vont dépendre de facteurs aussi divers que l'espèce considérée, l'habitat dans lequel elle évolue, la densité de la végétation, la distribution de l'espèce, ou encore le budget à disposition.

Parmi les grands types de recensements, on distingue ceux qui appréhendent les tendances de population (croissance, stabilité ou décroissance) et ceux qui appréhendent le nombre ou la densité absolue (nombre /surface). Chaque méthode a ses avantages et inconvénients. La plupart des problèmes biologiques (changements à long terme des populations, utilisation des habitats, dispersion, gestion des populations, taux de croissance d'une population...) ne nécessitent pas d'estimations précises du nombre d'animaux, mais peuvent être appréhendés uniquement avec des valeurs relatives de densité (Bourgarel, 2004). Par exemple, les indices d'abondance permettent d'estimer la croissance d'une population (Maillard et al. 2001). L'indice kilométrique est une méthode très répandue en forêt qui estime une densité relative d'animaux (Plumptre & Reynolds 1994; Whitesides et al. 1988). Suivant la facilité d'observation plus ou moins forte des animaux, elle peut se baser sur l'observation directe (Vincent et al. 1991), ou sur les indices de présence tels que les crottes (e.g. Plumptre, 2000) ou encore le chant pour les espèces d'oiseaux (e.g. Royle & Nichols, 2003). Les comptages indirects posent des questions d'interprétation des données, car elles nécessitent, dans certains cas, un travail de conversion du comptage, par exemple des crottes en densité d'animaux. Cette conversion nécessite d'estimer le taux de production, et la vitesse de disparition des crottes (Neff 1968). Enfin, la donnée récoltée peut être soit uniquement le nombre d'individus, on parle alors de dénombrement, soit elle concerne aussi les paramètres individuels des animaux tels que l'âge ou le sexe, il s'agit alors d'un recensement.

Ainsi, les recensements permettent d'aborder la dynamique de la population et s'ils sont fiables et répétés régulièrement, les paramètres démographiques de la population (Gaillard, 1988).

Dans le cas d'espèces en danger, où le nombre d'individus est très restreint, connaître l'effectif précis de la population peut s'avérer crucial. L'estimation absolue d'une population, peut être soit un comptage total, soit un échantillonnage se basant sur le comptage d'une partie de la zone d'étude, dont le nombre d'animaux sera dans un deuxième temps extrapolé. Les cas de comptage total dans la littérature sont rares car ils demandent beaucoup de moyens et ne sont applicables que dans certains cas où les animaux à compter sont sur une relativement faible superficie et sont détectables facilement.

Nous allons le voir, chaque méthode a sa limite de justesse, précision, et d'interprétation des résultats. La précision est la répétabilité de l'estimation (Collinson, 1985). La justesse est la différence entre l'effectif estimé, et l'effectif réel. Les comptages sont plus justes dans le cas de petites populations (Gaillard et al. 2003), et quand l'espèce étudiée est de grande taille, grégaire, et l'habitat est ouvert (Largo et al. 2008).

2. Principes, avantages et limites des 3 méthodes de comptages girafes au Niger utilisées depuis 1996

De 1995 à 2009 des comptages annuels des girafes ont eu lieu au Niger (sauf en 2001 et 2002). Pour compter les girafes, trois méthodes principales ont été testées: le *strip transect* terrestre (en 2002), le comptage aérien total (en 2004), la photo-identification (de 1996 à 2000) suivie d'analyse par Capture Marquage Recapture (de 2005 à 2009).

a. Le strip transect

La method *strip transect* (Eberhardt, 1977), consiste à parcourir des chemins dans la région d'étude et à compter les animaux présents de part et d'autre du chemin. Les chemins sont soit distribués aléatoirement, soit plus couramment des lignes parallèles couvrant la zone d'étude, et l'observateur compte les animaux de part et d'autre de la ligne correspondant à la moitié de l'écart entre 2 transects afin de couvrir entièrement la zone d'étude. Le reproche le plus courant fait à cette méthode est qu'elle suppose que tous les animaux présents dans la bande d'observation sont comptés. Or, la détectabilité des animaux varie avec la distance au transect et avec la densité de végétation. Ainsi dans les habitats hétérogènes, les biais d'observation peuvent être importants (Norton-Griffiths, 1978). Les solutions pour pallier ce biais consistent à prendre

en compte la visibilité variable le long du transect du fait de la végétation (Nje, 1983), ou encore à calculer une visibilité moyenne pour l'espèce considérée.

b. Le comptage aérien

En Afrique depuis les années 50, les comptages aériens à l'aide d'avions légers ont permis d'estimer la grande faune en comptant le nombre d'animaux sur une surface donnée (e.g. 10% de la surface totale), puis en extrapolant ce chiffre. L'efficacité de ce type de comptage a rarement été évaluée (Jachmann, 2002). Si certains biais peuvent être évités en utilisant un protocole approprié, d'autres sont inhérents à la méthode. Ainsi, la visibilité et la détectabilité peuvent avoir un fort impact sur le résultat final (Norton-Griffiths, 1978). Même en répétant d'une année sur l'autre les comptages aériens, à la même période, avec le même protocole, la densité de végétation ou les conditions climatiques peuvent varier et affecter la visibilité. La détectabilité des animaux quant à elle dépend de la taille du troupeau ou encore de la vitesse de déplacement des animaux: les animaux ne bougeant pas au passage de l'avion auront une moins grande probabilité de détection que ceux qui courent (Caughley, 1977). D'autre part, un protocole adapté devra, pour les comptages par transects parallèles, (1) proposer une distance entre 2 transects adaptée, c'est-à-dire pas trop grande pour que toute la surface de comptage soit couverte, (2) utiliser un appareil photo permettant le comptage précis *a posteriori* des très grands troupeaux, (3) et éviter les doubles comptages inhérents à une mauvaise navigation. La qualité de l'observateur liée pour beaucoup à son expérience est aussi un facteur à considérer (Jachmann, 2001).

c. La photo identification et la CMR

• Première étape : La photo identification

Afin d'obtenir des résultats précis de taille de population par Capture – Marquage – Recapture, il est nécessaire de d'identifier et marquer une forte proportion des individus de la population (e.g. 2/3 de la population pour le chevreuil, Strandgaard, 1967), et de répéter régulièrement l'échantillonnage (e.g. annuellement). Le marquage peut être visuel par **photo-identification**, ou en capturant l'animal et en le marquant physiquement. Des méthodes de reconnaissance individuelle mono spécifique ont été développées par de nombreux auteurs : e.g. la girafe - Foster, 1966; le zèbre – Klingel, 1965; l'éléphant - Moss, 1982; le springbok - Pangais

& Stander, 1989; le rhinocéros noir – Kiwia 1989. La reconnaissance individuelle peut soit se faire en reconnaissant certaines caractéristiques morphologiques incluant la forme des taches, la largeur des rayures, la taille des cornes, ou encore les cicatrices, les individus sont alors marqués visuellement. La reconnaissance individuelle nécessite parfois la capture de l'animal et son marquage à l'aide de peinture de couleur, numéro, entaillage d'oreilles ou d'écailles, la mise en place de rubans colorés, de colliers etc. Si capturer une girafe est sans doute plus compliqué que pour n'importe quel autre grand mammifère (voir partie dédiée aux colliers émetteurs girafes, partie 4), l'espèce se prête particulièrement bien à la reconnaissance individuelle, par photo-identification car le patron des taches ne varie pas pour un individu au cours de sa vie. En revanche la taille des cornes, en particulier chez les mâles adultes peut grossir avec le temps, et la couleur du pelage peut foncer (Dagg & Foster, 1976; Seymour, 2002). De nombreux auteurs ont développé des techniques de reconnaissance individuelle de girafes (Innis, 1958; Foster, 1966; Le Pendu et al. 2000; Leuthold 1979; Pellew, 1983; Pratt & Anderson 1979; van der Jeugd & Prins 2000; Young & Isbell 1991; Fennesy, 2004). Les auteurs se basent sur la forme des taches et certains incluent des paramètres morphologiques supplémentaires tels que la taille de la queue ou les cicatrices par exemple (Le Pendu et al. 2000; Fennesy, 2004).

- **Deuxième étape : L'analyse CMR**

Une fois les individus marqués, les méthodes de Capture Marquage Recapture permettent non seulement d'estimer de façon fiable le nombre d'individus de la population (Gaillard, 1988), mais permettent aussi d'estimer la survie, le recrutement, la dispersion, ou encore la croissance de la population (pour les modèles multi-états, voir Lebreton, 2009). Elles sont par ailleurs coûteuses. Largement utilisée en ornithologie et sur les grands mammifères, la CMR est devenue populaire et a l'avantage de s'adapter à un grand nombre de situations de terrain. Le principe de la CMR (Lebreton et al. 1992) est basé sur le marquage (visuel ou physique) et la recapture ou réobservation d'individus identifiés. Les données récoltées par CMR sont des histoires de capture individuelles où, chaque capture est codée en « 1 », quand l'individu est observé, et en « 0 » quand l'individu n'est pas observé. Dans les modèles les plus simples, l'analyse consiste alors à estimer la probabilité de survie (Φ), et la probabilité de capture (P). Ainsi, la survie entre deux occasions de capture est une survie apparente sous estimant la survie réelle (Lebreton et al. 1992). En capturant et recapturant (ou en réobservant) les individus, chaque année par exemple, on

construit des histoires de capture individuelles. Le nombre d'individus associés à chaque histoire de capture h suit une loi multinomiale dont les paramètres sont les probabilités de chaque histoire de capture notée $Pr(h)$, elles-mêmes estimées à partir des paramètres P et Φ . La méthode du maximum de vraisemblance permet ensuite d'estimer ces paramètres, connaissant l'expression probabiliste de chacune des histoires h (Lebreton et al. 1992).

Le modèle de base d'analyse de données CMR est le CJS (Cormack-Jolly-Seber; Seber, 1992; Schwartz & Seber, 1999) qui ne considère que l'effet du temps. Il modélise les probabilités de survie et de recapture au cours du temps ($\Phi \cdot Pt$). Cependant, des modèles de CMR plus récents permettent la modélisation des probabilités de survie et de recapture en fonction de plusieurs variables telles que l'âge, le sexe, le poids, et des facteurs environnementaux comme le climat (Lebreton et al. 1992). Pour les détails de l'analyse CMR utilisée dans notre étude de 2005 à 2008, voir article Oryx, chapitre 3.

3. Détail des méthodes de recensements des girafes de 1995 à 2009

a. Le strip transect

Pendant la saison des pluies 2002, un comptage terrestre sur le plateau de Kouré a eu lieu basé sur la méthode du strip transect en comptant les animaux en moto de part et d'autres de transects théoriques parallèles espacés de 500 mètres. En tout, 57 transects de 27 kilomètres en moyenne ont été parcourus sur une période de 10 jours. Ainsi, en moyenne 2 à 3 transects était parcourus suivant la végétation et le nombre de girafes observées. Le nombre et la position de chaque troupeau ont été notés.

b. Le comptage aérien

Pendant la saison des pluies 2004, 2 comptages aériens ont eu lieu, un en juillet et l'autre en septembre. Ces comptages ont couvert les mêmes surfaces au-dessus des plateaux de Kouré et de Fandou. Des transects rectilignes espacés d'1 kilomètre ont été parcourus, les observateurs devant compter toutes les girafes situées jusqu'à 500 mètres de part et d'autre de l'appareil. Les avions ont volé à 300 pieds d'altitude à une vitesse constante de 120Km/h. Trois ULM ont volé en même temps, permettant ainsi de couvrir toute la zone d'étude en une matinée et d'éviter les doubles comptages. La taille et la localisation de chaque troupeau ont été notées. Les seules informations individuelles ayant pu être récoltées pendant ce recensement ont porté sur la classe

d'âge des girafes observées en 2 catégories : girafon ou non girafon (les très petits individus étant considérés comme étant des girafons). En juillet 2004, 88 girafes ont été recensées. Le recensement de septembre 2004 a permis de recenser 86 individus. Ainsi, Boulet et al. (2004) concluent que la population des girafes en 2004 était de 88 individus.

c. La photo-identification

De 1995 à 2000, puis de 2005 à 2009, la reconnaissance individuelle par photo identification a été la base des recensements des girafes. Dans les 2 séries de recensements, les profils droit et gauche de chaque girafe ont été photographiés, et des cartes d'identité individuelles ont été développées. De 1995 à 2000, les photographies argentiques ont servi à identifier les girafes, alors que de 2005 à 2009, avec l'utilisation de la photographie numérique, chaque profil de girafe a été dans un second temps recadré, et la luminosité, le contraste, et la saturation des couleurs ont été améliorés. De plus, de 2005 à 2009, certaines taches, particulièrement grandes ou de formes géométriques particulières, ont été mises en surbrillance par retouche photographique, là encore pour faciliter la reconnaissance individuelle.

Nom : 22/10/10


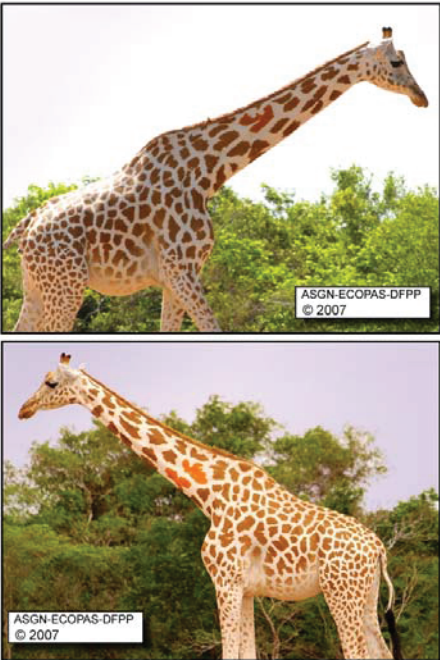
♀ ♂ ?

Caïd Adulte Jeune Adulte Jeune ~~X~~ Petit ?

Numéros de photos 419 420

Profil Gauche : Profil Droit : Autres :

Signes particuliers : jeune à partir de juin 97, subadulte juin 98, adulte en juin 2001

N° d'individu : 42	Purniko : n°44, Lulu, née en décembre 1996, fille de 82. Mère de 43
Sexe : Femelle	Classe : Adulte
Signes particuliers :	Observations :

Figure 10 Exemple de fiche de photo identification du même individu. Album de 1998 (en haut), et 2007 (en bas).

Des informations aidant la reconnaissance individuelle ont aussi été notées telles que les cicatrices ou les cornes dissymétriques. D'autres informations ont été rapportées d'un album à l'autre, tels que la classe d'âge, le sexe, ou les liens de filiation mère-jeune observés.

Quatre classes d'âge ont été identifiées: les girafons de 0 à 6 mois, les jeunes de 6 à 18 mois, les sub-adultes de 18 mois à 4 ans, et les adultes à partir de 4 ans. Pour le détail de la détermination des classes d'âge, voir article Oryx, chapitre 3.

De 1995 à 1999, les albums de photo-identification ont été actualisés à chaque recensement. De 2005 à 2009, un nouvel album a été réalisé chaque année. Les informations concernant la façon de parcourir la zone d'étude et le nombre exact de jours de terrain n'étaient pas disponibles pour les recensements de 1995 à 2000. De plus ceux-ci ont eu lieu à plusieurs périodes de l'année (saison sèche / saison des pluies) et sur des zones différentes suivant la saison. De 2005 à 2009, tous les recensements ont eu lieu en saison des pluies, de juillet à septembre, en parcourant les plateaux de Kouré et de Fandou. En 2005, la photo-identification s'est déroulée en parcourant plusieurs fois des transects théoriques parallèles espacés de 500 mètres. De 2006 à 2009, le plateau de Kouré a été découpé en 5 zones de travail, chaque demi-journée, les équipes de terrain avaient alors pour mission de photographier toutes les girafes rencontrées. Chaque zone a été couverte en moyenne 10 fois par recensement, et le temps passé par zone était proportionnel à la taille de la zone. A Fandou, où la densité de girafes est très inférieure à celle de Kouré et la zone très étendue, aucune méthode de couverture de la zone n'était possible à mettre en place. Les équipes de recensements s'appuyaient donc beaucoup sur les informations récoltées par les guides, villageois et forestiers. De une à trois équipes en véhicule tout terrain ont été mobilisées pendant les recensements de 2005 à 2009. Le nombre de jours de terrain cumulés étaient d'en moyenne 35 ± 5 jours. (Pour le détail de la méthode, voir article Oryx, partie 3).

4. Ces méthodes sont-elles adaptées au cas d'étude ?

a. Le strip transect

La méthode du strip transect comme pratiquée en 2002 n'est pas du tout adaptée aux girafes. En effet, uniquement compter les girafes de part et d'autre de transects parallèles théoriques n'a pas de sens si ces transects ne sont parcourus qu'une seule fois, et surtout si les girafes ne sont pas identifiées. En effet, les girafes sont très mobiles, et en 10 jours de terrain, les observateurs ont sans aucun doute vu plusieurs fois le même individu, alors que d'autres girafes

n'ont sans doute jamais été comptées. D'autre part, réaliser des transects théoriques dans un habitat aussi hétérogène et dense que la brousse tigrée est tout simplement impossible.

b. Le comptage aérien

La méthode de comptage aérien a l'avantage de fournir un nombre de girafes estimé dans la zone couverte en seulement une demi-journée. Ici, la surface échantillonnée correspond à la surface totale de la zone où les girafes sont supposées présentes (pas d'extrapolation). Néanmoins, ce chiffre est sous-estimé du fait des problèmes de visibilité qui conduisent à une probabilité de détection inférieure à 1. De plus, certaines girafes peuvent quitter le cœur de la zone, ou encore se cacher dans la végétation. Ces individus, ne sont donc pas comptés. Cette méthode ne saurait donc se révéler une méthode exhaustive comme le suggère pourtant Boulet et al. (2004). Par ailleurs, cette méthode ne permet d'obtenir quasiment aucune information sur la répartition par sexe et âge, en dehors de la distinction girafon / non girafon.

c. La photo identification et la CMR

Nous n'avons pas d'information sur la façon de parcourir le terrain ni le temps d'observation des recensements de 1995 à 1999 basés sur la photo-identification; par contre, nous savons qu'ils n'ont pas tous eu lieu aux mêmes périodes, ni dans les mêmes zones, ce qui pose la question de la standardisation des protocoles. En 2005, le terrain a été comme en 2002 couvert en parcourant des transects théoriques parallèles. La même critique sur l'impossibilité de suivre ces transects prévaut. Par contre, ce recensement a tout de même été proche de l'exhaustif car même si la couverture du terrain n'a pas pu suivre le protocole prévu, le terrain a été couvert à de nombreuses reprises, jusqu'à ce que plus aucune nouvelle girafe ne soit découverte. A partir de 2006, la couverture du terrain par zone s'est avérée bien plus réaliste. De 2005 à 2009, tous les comptages ont eu lieu en saison des pluies pendant des périodes de travail assez similaires, sur la même zone. Des protocoles similaires permettent de comparer les résultats d'une année sur l'autre. D'autre part, la photo-identification, permet d'éviter les doubles ou triples comptages, et c'est la seule qui permette d'avoir des informations individuelles sur les girafes, et ainsi de connaître la structure de la population, et qui permet grâce à la CMR de renseigner les paramètres démographiques de la population. Enfin, la capture visuelle d'un grand nombre d'individus est facilitée car les girafes sont peu nombreuses, elles se distribuent sur une relativement petite surface (en particulier en saison des pluies), et elles se laissent approcher facilement du fait d'une

cohabitation très étroite avec les populations humaines. L'inconvénient principal de la méthode est que pour obtenir un résultat le plus exhaustif possible, les sessions de terrain doivent être répétées de nombreuses fois. De plus, les analyses des données sont très longues car chaque girafe rencontrée est photographiée. Ce sont donc des milliers de photos qui doivent être analysées à chaque comptage, où un individu est parfois photographié une demi-douzaine de fois. L'édition et la mise en page de l'album est aussi un travail très long, et requiert des compétences en informatique et retouche photographique. Tout le processus de terrain engage parfois plus de 20 personnes et 3 véhicules tout terrain. De plus l'analyse des résultats est très longue. Tout ce processus a un coût en temps et en argent important. Elle est néanmoins bien adaptée au cas particulier des girafes d'Afrique de l'Ouest qui sont concentrées sur une zone restreinte en saison des pluies, et dont le nombre est relativement faible. C'est de loin la méthode la plus informative (age, sexe), c'est la seule qui permet une analyse démographique par CMR, et c'est la plus exhaustive de toutes. D'autres méthodes devront être envisagées si la population devient trop nombreuse pour réaliser une fiche individuelle par girafe en un temps et un coût raisonnable, ou si la dispersion des girafes ne permet plus de recenser les girafes sur une superficie limitée.

B. Aspects théoriques de la dynamique des populations

1. Introduction

L'étude de la dynamique des populations est une discipline de l'écologie qui a pour objet l'étude des variations d'abondance dans l'espace et dans le temps. Elle a des implications importantes en particulier dans le cas d'espèces menacées d'extinction, car par définition, le nombre d'individus qui composent ces espèces ou populations est faible ou en décroissance. La dynamique de la population est influencée par les stratégies biodémographiques, qui sont étroitement liées à l'histoire évolutive de l'espèce considérée, et à des facteurs environnementaux tels que le climat, ou encore la chasse.

2. Les stratégies biodémographiques

Les paramètres démographiques (e.g. taux de survie, nombre de jeunes produits et élevés, âge de première reproduction) et morphologiques (e.g. masse corporelle, dimorphisme sexuel de taille) présentent une très grande diversité dans le monde animal. Le principal objectif de l'étude des stratégies biodémographiques est de comprendre la valeur adaptative de ces traits d'histoire de

vie, en relation avec les conditions environnementales (Stearns, 1983). Les stratégies d'histoire de vie des espèces se classent dans un continuum lent / rapide (Stearns, 1992). Les espèces à histoire de vie lentes sont caractérisées par une reproduction de faible intensité et tardive, et une vie longue, conduisant à une forte durée de génération (Gaillard et al. 1989, 2005). Les ressources n'étant pas infinies, les individus ne pourront pas maximiser à la fois la croissance la survie et la reproduction (Law, 1979). Ainsi, une forte allocation dans une reproduction aura potentiellement des répercussions négatives en terme de survie et pourra compromettre les reproductions futures, conduisant à un investissement au sens de Trivers (1972). S'il existe une certaine flexibilité dans les réponses données, celles-ci sont contraintes par la masse corporelle, et la phylogénie (Harvey & Pagel 1991). Par exemple, chez les mammifères, à masse égale, l'espérance de vie varie entre les différents ordres de mammifères : les cétacés ont une faible espérance de vie, les ongulés une espérance de vie moyenne, et les primates une espérance des vie longue (Gaillard et al. 1989).

3. Dynamique de la population des grands herbivores

a. Effet de la masse sur les paramètres démographiques

La principale source de variation dans les traits d'histoire de vie des grands herbivores est la masse corporelle. La durée de vie des espèces est positivement corrélée avec la masse corporelle et à la phylogénie. (Gaillard et al. 1989, 2003). Les grands herbivores sont généralement des espèces longévives. Chez ces espèces, la reproduction est tardive, peu de descendants sont produits à chaque fois, et leurs occasions de reproduction sont nombreuses (Stearns, 1983; Gaillard et al. 1989). La durée de génération des herbivores est liée à la masse corporelle (Gaillard et al. 2000, 2005). Les grands herbivores se situent à la fin de ce continuum rapide-lent, et leur temps de génération est donc long, conduisant à un taux de renouvellement des individus lent (Stearns, 1992). La façon de s'alimenter influence aussi le taux de renouvellement des populations, ainsi les browsers ont des traits d'histoire de vie plus rapide que les grazers, à masse corporelle égale (Gaillard et al. 2008).

b. Effet de l'âge sur les paramètres démographiques

Chez les espèces à forte durée de génération, les effets d'un changement de la survie juvénile a moins d'impact qu'un changement égal de survie adulte sur la croissance de la population (Gaillard et al. 2000; Lebreton et al. 1990). Ainsi, les espèces longévives ont une forte élasticité à

la survie adulte, et une faible élasticité à la survie juvénile. Toutes les études démographiques ont rapporté que chez les grands herbivores la survie adulte des femelles est le paramètre démographique potentiellement clé (Gaillard et al. 2000) puisqu'elle a la plus forte élasticité. Ainsi, l'étude de la croissance d'une population de grands herbivores se fait en particulier à travers les paramètres démographiques des femelles adultes, le nombre de mâles n'étant, le plus souvent, pas limitant (Caswell, 2001). Pour autant, si l'élasticité détermine quel changement donné d'un paramètre a le plus d'impact sur la croissance de la population, tous les paramètres démographiques ne varient pas dans les mêmes proportions. Ainsi, chez les grands mammifères, nous venons de le voir, l'élasticité à la survie des femelles adultes est élevée, mais celle-ci fluctue peu par rapport à la survie juvénile (Gaillard et al. 2000; Eberhardt, 2002). En effet, la survie adulte des espèces longévives, est peu sensible aux variations environnementales (Gaillard & Yoccoz 2003). La survie juvénile est donc souvent le paramètre qui explique le mieux les variations observées du taux de croissance de la population, bien que ce paramètre ait moins d'impact potentiel que la survie adulte. Ainsi, Pellew (1983) qui était jusqu'alors le seul à avoir étudié une population de girafes en croissance, montre que c'est la prédation, qui s'applique essentiellement sur les juvéniles, qui limite la croissance des girafes, car les adultes, comme attendu chez les espèces longévives, ont une survie très forte et peu variable.

c. Effet du sexe sur les paramètres démographiques

Les tactiques de reproduction des mâles sont coûteuses en énergie (e.g. défense de territoire, combat). Par exemple, chez le bighorn sheep, la saison de reproduction donne lieu à de nombreux combats entre les mâles, et ils arrêtent quasiment de se nourrir, pendant que les femelles se nourrissent beaucoup après la période de lactation (Festa-Bianchet al. 1998). Chez les espèces polygynes et fortement dimorphiques, on observe une stratégie risquée mais à fort bénéfice chez les mâles: ils naissent plus lourds et grandissent plus vite, et allouent une plus grande part de leur énergie dans la croissance et la reproduction, et passent plus des temps (d'énergie) dans les combats avec leur conspécifiques que les femelles (Clutton-Brock, 1991). Ceci a un coût qui se traduit en termes de survie (Clutton-Brock, 1991), et de sénescence (Gaillard et al. 2004). Une étude comparative de deux espèces d'ongulés, une dimorphique (bighorn sheep) et l'autre non (chevreuil), a confirmé cette prédiction (Gaillard et al. 2004). Le coût (en termes de survie) de la grande taille des mâles chez les espèces dimorphiques est particulièrement élevé quand les

conditions environnementales sont défavorables (Bonenfant et al. 2002). Par contre, quand les conditions environnementales sont bonnes, la survie des mâles n'est pas limitée par un fort dimorphisme sexuel (Toïgo & Gaillard, 2003).

4. Facteurs environnementaux conditionnant la dynamique de la population des grands herbivores

a. Effet de la densité

A densité élevée, des mécanismes de densité dépendance influent négativement sur la croissance de la population. Les effets négatifs de la densité dépendance chez les grands mammifères ont été montrés pour des traits d'histoire de vie, par exemple, la masse corporelle et l'âge de la première reproduction (Bonenfant et al. 2009). De plus, chez les grands herbivores, la densité dépendance affecte les paramètres démographiques suivant un patron déterminé depuis la survie juvénile, puis le succès reproducteur, et enfin la survie adulte (Eberhardt, 1977; Grange et al. 2009).

b. Effet du climat

L'effet du climat affecte en particulier certaines classes d'âge. Les classes d'âge extrêmes, les plus jeunes et les plus âgés, sont particulièrement sensibles aux conditions climatiques défavorables (Clutton-Brock & Albon, 1982). Des hivers particulièrement rigoureux (Clutton-Brock & Albon, 1982) ou de faibles précipitations (Owen-Smith, 1988) peuvent affecter dans une grande proportion la survie juvénile. Dans des conditions environnementales extrêmes ou pour les espèces à la limite de leur aire de distribution, l'impact de conditions climatiques très défavorables peut avoir des conséquences importantes sur l'ensemble des paramètres démographiques de la population (Grenfell et al. 1998).

Les fluctuations dans la structure de la population pourront mener à des interactions entre densité, climat et structure de la population qui ont des effets sur la dynamique de la population, et ceci indépendamment de l'effectif de la population (Coulson, 2001). Parce que les taux de survie varient en fonction de l'âge et du sexe (Gaillard et al. 1998), à taille égale, deux populations structurées différemment auront des dynamiques de population (Coulson et al. 2001) et des réponses aux conditions environnementales différentes (Cameron & Benton, 2004).

c. Facteurs anthropogéniques

Les causes de mortalité des grands mammifères par l'homme sont nombreuses : persécution, accident de la route, empoisonnement, chasse etc. Les mammifères terrestres sont chassés pour la subsistance, le sport et le contrôle des populations (Festa-Bianchet, 2003). Le plus souvent la chasse ne prélève pas des individus au hasard dans la population. Chez les espèces dimorphiques, les mâles adultes, plus gros (plus de viande dans le cas de la chasse de subsistance), et pouvant représenter des trophées plus importants (chasse sportive), sont particulièrement prélevés (Solberg et al. 1999). Ainsi, les patrons de mortalité sont différents entre population chassées et non chassées (Langvatn & Loison, 1999) et touchent en particulier les mâles adultes (non sénescents).

De plus, les grands mammifères ont plus tendance être chassés que les petits, ces derniers souffrant principalement de la perte d'habitat (Jerozolinski, 2003). Nous l'avons vu, la sélection sexuelle induit souvent une survie inférieure chez les mâles adultes par rapport aux femelles. Ce sex ratio biaisé peut donc être accentué sous l'effet de la chasse. En chassant sélectivement les gros mâles, la structure de la population peut être impactée non seulement au niveau du sexe ratio adulte, mais aussi au niveau de la structure en âge des mâles, avec une moyenne d'âge chez les mâles adultes plus faible, et des vieux individus moins nombreux. La chasse, chez les espèces dimorphiques, n'a pas forcément un impact déterminant sur la fécondité, car il existe un lien entre dimorphisme et degré de polygynie (Loison et al. 1999). Ainsi, chez les espèces dimorphiques, le plus souvent un mâle pourra s'accoupler avec plusieurs femelles (Mysterud et al. 2002). Cependant, chez les ongulés, d'un point de vue théorique et expérimental, les mâles adultes n'ont pas des possibilités illimitées de féconder des femelles. Les populations où très peu de mâles adultes subsistent du fait d'une chasse trop sélective sur les mâles adultes peuvent subir une réduction de la fécondité des femelles, conduisant à terme à une extinction de la population (Milner et al. 2007).

5. Le cas des petites populations

L'effet Allee décrit un scénario dans lequel les petites populations montrent une relation positive entre l'effectif de la population et la densité (inverse de la densité dépendance décrite plus haut). L'effet Allee a donc un impact sur la dynamique de la population des petites populations, et *in fine* augmente le risque d'extinction. Les facteurs générant l'effet Allee peuvent être classés en 3

catégories (Courchamp et al. 1999). La première est en relation avec la consanguinité qui augmente chez les petites populations, via une perte d'hétérozygotie qui conduit à une diminution de la fitness. La deuxième concerne la stochasticité démographique (Lande, 1993), par exemple des sex ratio biaisés à la naissance. Si l'impact de la stochasticité environnementale affecte petites et grandes populations, la stochasticité démographique, elle, devient importante dans les petites populations (Lande, 1993). La troisième concerne la réduction des interactions quand il y a peu d'individus. Ainsi, rencontrer un partenaire quand les densités sont très faibles peut être difficile, ce qui induit un faible recrutement. La génération suivante aura donc encore plus de difficultés à rencontrer des partenaires. Cette spirale négative pourra conduire à l'extinction de la population. La conséquence principale de l'effet Allee, c'est qu'il existe une densité minimale d'animaux en dessous de laquelle la population ne peut se restaurer.

6. La CMR, un outil pour évaluer les paramètres démographique

Le suivi à long terme d'individus d'âge connu et reconnaissables individuellement offre l'opportunité d'étudier les paramètres démographiques des populations de grands herbivores grâce à l'analyse CMR. Ces études permettent de comprendre les réponses des paramètres démographiques aux changements de la densité de la population, aux variations du climat, à la qualité de l'habitat, et à la pression de chasse ou de prédation (Gaillard, 2010). Nous l'avons vu, les grands herbivores sont des espèces longévives. Dès lors, l'étude des paramètres démographiques des grands herbivores a certaines contraintes, car elle nécessite des études à long terme, souvent coûteuses, et répétées à un rythme régulier.

Nous avons analysé les résultats des recensements par photo identification de 1996 à 1999 (résultats des comptages), et de 2005 à 2008 (résultats des comptages et analyse démographique grâce à la CMR). Cette analyse a permis de mettre en évidence des taux de croissance élevés chez cette population de girafes, tester des hypothèses de croissance maximale en lien avec les relations allométrique chez les browsers, et a permis de préciser des paramètres démographiques comme les taux de survie adultes, ou encore le temps de génération. Cette analyse a donné lieu à un article aujourd'hui sous presse dans Oryx.

C. Article accepté le 1er mars 2011 dans Oryx n° 10-A-0255.R1. Higher than expected growth rate in an endangered giraffe population: a successful human-wildlife cohabitation

Higher than expected growth rate in an endangered giraffe population: a successful human-wildlife cohabitation

J.-P. Suraud^{1,5}, J. Fennessy², E. Bonnaud³, A. M. Issa⁴, H. Fritz¹, J.-M. Gaillard¹

¹Laboratoire de Biométrie et Biologie Evolutive (UMR5558), CNRS, Université Lyon 1, 43 bd 11 nov, F-69622 Villeurbanne Cedex, France. e-mail : Jean-Patrick Suraud girafesduniger@gmail.com ; Jean-Michel Gaillard : jean-michel.gaillard@univ-lyon1.fr ; Hervé Fritz : herve.fritz@univ-lyon1.fr

²Julian Fennessy, Giraffe Conservation Foundation, 26 Grasmere Road Purley, Surrey, CR8 1DU, England – e-mail: Julian.Fennessy@gmail.com

³Elsa Bonnaud, Ecology Systematics and Evolution, UMR CNRS 8079, Paris Sud University, Bât. 362, F-91405 ORSAY Cedex – e-mail: ebonnaud@ipna.csic.es

⁴Abdou Malam Issa, Direction de la Faune, de la Chasse et des Aires Protégées, Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre la Désertification, République du Niger – e-mail: malam_ia@yahoo.fr

⁵Association pour la Sauvegarde des Girafes du Niger, BP 16, Niamey, Niger

Abstract

The West African giraffe is a genetically unique population represented only by the subspecies *Giraffa camelopardalis peralta*. These giraffe live outside protected areas, without natural predators and share their habitat with local people and their livestock. This study provides rare demographic data on a poorly studied megaherbivore species and documents the recovery of a critically endangered large mammal species.

We analysed the results of the photo-identification censuses from 1996 to 1999 (count data) and from 2005 to 2008 (count and demographic data). From 1996 to 1999, the annual growth rate was around 19% due to an unbalanced population structure after a severe poaching period. From 2005 to 2008 an annual growth rate of approximately 12-13% was estimated from both count data and demographic parameters. This value fits with the maximum growth rate calculated for a browser species based on the allometric relationship linking growth rate and body mass. During the period 2005-2008 adult and sub-adult females had a constant survival rate of 0.94, and a constant recapture rate of 0.97. Calf yearly survival rate was 1. Observed sex ratio at birth was 0.57, and the average reproductive success was 0.257. Generation time was estimated at 9.66 years.

This spectacular population growth was mostly attributed to absence of predator, the ongoing monitoring to limit illegal hunting, and prevention. Nevertheless, with only approximately 220 individuals in 2009, the *G. c. peralta* sub-species was the first of the nine giraffe sub-species classified as “endangered” following the IUCN Red List Assessment criteria.

Keywords: Giraffe, *Giraffa camelopardalis peralta*, Capture-Mark-Recapture, demography, growth rate, population dynamics, survival

Introduction

Since the beginning of the 20th century the density and distribution of giraffe populations has strongly decreased across Africa (Sidney, 1965) to approximately 140,000 individuals throughout Africa in the late 1990s (East, 1999). Today, giraffe are thought to number less than 80,000 individuals (Unpublished data from the International giraffe database). The West African giraffe population showed the same trend. The West African giraffe is a genetically unique population represented only by the subspecies *Giraffa camelopardalis peralta* (Brown et al., 2007; Hassanin et al., 2007).

During Palaeolithic times, giraffe ranged across the major part of West and North Africa, including the Mediterranean coastline (Mauny, 1957). In the early 20th century, thousands of the West African giraffe were distributed across numerous countries of the Sudano-sahelian zone (e.g. from Chad to Senegal). Poaching, habitat loss and habitat fragmentation were the main drivers of their massive decline during the last century (Ciofolo, 1995).

Despite the implementation of an anti-poaching program in the early 1980s (Pfeffer, 1981), the number of West African giraffe continued to decline. In 1996, the last 50 individuals of this giraffe population were concentrated close to Niamey, the capital of Niger (Ciofolo, 1998; Le Pendu & Ciofolo, 1999). Therefore, the Government of Niger took concerted efforts to enforce the long-term legislation preventing the illegal killing (poaching) of giraffe which was further supported by a community education and awareness campaign coordinated by the Purnko (Projet d'Utilisation des Ressources Naturelles de Kouré). Since 2000, with the additional efforts of the ASGN (Association for Saving the Giraffes of Niger) and the AVEN (Association pour la Valorisation de l'Ecotourisme au Niger) - the giraffe guide association, poaching has almost disappeared. Only three cases of giraffe poaching were reported between 2005 and 2009. In recognition of the general importance of the endemic population of the West African giraffe, the IUCN Red List of 2008 listed the subspecies as 'endangered' and of highest conservation priority (Fennessy & Brown, 2008).

In 2009, the West African giraffe numbered approximately 220 individuals (Suraud, in press) that live outside protected areas, without natural predators (e.g., lions), and share their habitat with local people and their livestock. This unique case of human-giraffe cohabitation

enables giraffe to be individually monitored at close range with minimal flight response, and thus offers ideal conditions to study population dynamics and estimate the maximum population growth rate (r -max sensu Caughley, 1977) of this poorly studied megaherbivore (sensu Owen-Smith, 1988).

Contrary to this work, most studies of giraffe population dynamics focused on populations that decreased in number (e.g., Leuthold, 1978) or were stable (e.g., Foster & Dagg, 1972; Ngog Nje, 1983), and the maximum growth rate of a giraffe population was reported by Pellew (1983) to be 6% per year in the Serengeti National Park (NP). The aims of our study were to (i) analyse the results of the different West African giraffe censuses by photo-identification from 1996 to 1999 (count data) and from 2005 to 2008 (both count and demographic data), (ii) assess the structure of this population, and (iii) estimate demographic parameters in this recovering giraffe population.

Methods

Study area

The study area is part of the Sahel with an annual average rainfall of 400-500mm. The Fakara Plateau (Kouré, Fandou), the North Dallol Bosso, and the Intermediate Zone are the three major areas in the giraffe's core range. Giraffe move across all these three areas, and their presence appears to be predominantly associated with seasonal rainfall and availability of forage (Ciofolo, 1998; Le Pendu & Ciofolo, 1999). The giraffe roam during the rainy season (June to October) onto the Fakara Plateau, and during the dry season (November to May) they return to the North Dallol Bosso where the vegetation is sparser but where species such as *Faidherbia albida* provide essential seasonal forage in the form of new leaves and pods. The Intermediate Zone, the area between rainy and dry seasons, is an important corridor for the seasonal migration of the giraffes (Le Pendu & Ciofolo, 1999).

The plateau vegetation is composed of tiger bush and cultivated crops (e.g., millet, sorghum, and beans). Tiger bush is a patterned vegetation community consisting of alternating bands of trees or shrubs, separated by bare ground representative of a 'tiger skin'. Due to its organization and structure, the tiger bush optimally uses the surface run-off and is largely dominated by Combretaceae (*Guiera senegalensis*, *Combretum micranthum*, *Combretum*

nigricans) mixed with Mimosaceae and Capparidaceae (*Acacia ataxacantha*, *Acacia macrostachya*, *Dichrostachys cinerea*, *Boscia angustifolia*, *Boscia senegalensis*) (Saadou, 1996). Other vegetation families are poorly represented.

Data collection

We used and analyzed the results of 2 series of censuses. The first one was conducted from 1996 to 1999 by the Purnko project (Ciofolo, 1998; Ciofolo et al., 2000) based on photo-identification. The second one was conducted from 2005 to 2008 by the ASGN in collaboration with the Niger Ministry of Environment, the AVEN, the Arborescence Association (in 2007), the ECOPAS (ECOsystèmes Protégés en Afrique Soudano Sahélienne) project, the local foresters, the Peace Corps volunteers, and international students (Suraud & Dovi, 2006; Suraud & Dovi, 2007; Suraud, 2008; Suraud, 2009). These latter censuses were improved because we were able to account for repeated observations of the same giraffe using photo-identification.

Censuses based on photo-identification aimed at being quasi-exhaustive for this small population. We attempted to count every individual, developing an individual identity card, and determining the distribution of the population by sex and age classes. Moreover, the photo-identification offered a way to build individual Capture-Recapture histories and thereby to get reliable estimates of age-specific survival rates. Then, using field-based estimates of reproductive parameters, we used demographic models to estimate population growth independently from annual counts (Caswell, 2001).

Each census was conducted on a yearly basis during the rainy season because the giraffe aggregated during this period in the Koure and Fandou plateaus, 60km east of Niamey. The plateaus were surveyed individually using a systematic sampling design (close to be exhaustive in this particular case): every year from 2005 to 2008, up to three teams in 4WDs identified every giraffe present until no new giraffe was detected. The teams involved up to twenty-two people working during for about forty-five cumulated days every year from July to September. A photo-identification album was regularly updated and used to assess whether a given giraffe was previously recorded or was a new individual in the database.

Several authors proposed to use between three and six age-classes to determine giraffe's age (e.g., Foster & Dagg, 1972; Leuthold, 1978; Pellew, 1983; Fennessy, 2003). We used four

age classes to standardise data. Long-term survey data allowed us to have information about most of the calves born between and within the two census periods (1996-1999 and 2005-2008, respectively).

The first age-class included juveniles less than 6 months of age characterized by a height of about 2 metres. The second age-class included young from 6 months (over 2 metres tall) to 18 months (up to 3 metres tall) of age; by the age of 12-18 months young may be separated from their mothers. Although it included the second half of the juvenile period and the first half of the yearling period (*sensu* Gaillard et al. 2000), we called this class yearling. The third age-class corresponded to sub-adults from 18 months to 4 years of age; secondary sexual traits like the small central ossicone are characteristic features of sub-adult males. The fourth and last age-class included adults that can be 4 metres tall; the central ossicone of the adult males is well developed.

As the pelage pattern of giraffe does not change throughout their life the form or the angle of the spot with the neck has been used by many authors as an invaluable method to identify individuals (e.g., Innis, 1958; Foster, 1966; Leuthold, 1978; Fennessy, 2003). Although the colour intensity of pelage may change over time and ossicones may increase in size, especially in males (Dagg & Foster, 1982; Seymour, 2002), an individual can be reliably recognized when observed at frequent intervals. In our study, photographs of the left and right profiles of each giraffe were taken in order to recognize individuals using their unique pattern of spots.

Individual identification sheets were completed for each giraffe. Recorded data included the name, age class, sex, and reproductive status of each giraffe. Prominent scars, ossicone size or shape, and pelage colour were also described. To reliably identify and ‘mark’ each individual within the population, remarkable spots were highlighted on the giraffe photographs. This method enabled continuous updating of the giraffe identification sheets as more images were obtained or new recognizable features were observed (Fennessy, 2003).

Data analysis

We calculated the average annual population growth rate from data collected during both census periods (1996-1999 and 2005-2008, respectively) and compared estimates obtained from the annual counts and from a demographic model based on the 2005-2008 data (see table 1). Demographic parameters, including age-specific survival rates and reproductive success, were

estimated for the 2005-2008 period. The generation time, a measure of the speed of the life history (Gaillard et al., 2005), was also calculated. We plotted log-transformed annual counts in relation to time. The population growth rate (r) was estimated from the time series of annual counts as the regression coefficient of the linear model relating the log-transformed population size with time, and λ was the log-transformed r (Lebreton & Millier, 1982). We performed the regression analysis with R software (R Development Core Team, 2005).

We used Capture-Mark-Recapture models (Lebreton et al., 1992) to estimate female survival rates using the software M-SURGE (Choquet et al., 2004). Surveys included 45 females marked as adults and 39 females marked as sub-adults between 2005 and 2008. We checked for the goodness-of-fit of data to the fully time-dependent model (Cormack-Jolly-Seber (CJS) model) by using the software U-CARE (Choquet et al., 2005). Using the CJS model as a starting point, we tested for time-dependence in both survival and resighting probabilities for both adult and sub-adult females.

We assumed that the availability of males did not limit female reproduction, and used female-based models to estimate population growth rates (Caswell, 2001). First, fecundity was measured as the number of females produced per female (for a yearly maximum of 0.5, assuming a sex ratio of 1:1 at birth). Then, we considered the observed sex ratio, which was biased in favour of males among calves (56 out of the 99 calves observed were males, leading to a male/female sex ratio of 0.57). We then built a Leslie matrix (Leslie, 1945), which is a deterministic, age-structured and female-based model commonly used for management of ungulate populations (Eberhardt, 1991; Gaillard & Yoccoz, 2003). We used the estimates of survival and reproductive success (measured as the product between juvenile survival and fecundity) in terms of female offspring only, for each age class (Largo *et al.*, 2008, Table 2). We assigned a value of 1 to juvenile survival as all female calves survived during their first year of life. While this certainly corresponds to an over-estimation of juvenile survival, this did not influence the estimate of population growth rate because calves that died before being detected on the field were assumed to have not been conceived, so that the measure of recruitment was accurate irrespective of the magnitude of calf mortality. However, calf mortality was likely very low because most dead giraffe were recovered thanks to detailed Ministry of Environment-ASGN dead giraffe records. In this highly anthropised region, when a giraffe died, local foresters alerted

by villagers informed the Ministry of Environment, and a dedicated team went in the field to identify the dead animal. Eleven giraffe were recorded dead during the 2005-2008 period. Among the females, none of them were juvenile or yearling. We assume giraffe death records were exhaustive, in particular in the giraffe core range. Thus, like for juveniles, we assigned a value of 1 to yearling survival as all yearling females survived from 2005 to 2008 based on censuses and dead giraffe records. For the other age-classes we assigned a constant value of 0.945 to survival (see results). We calculated generation time as the inverse of the elasticity of recruitment (Brooks & Lebreton, 2001).

Results

The West African giraffe population markedly increased during both census periods: λ were estimated to be **1.193** (SE=0.0356, $r^2=0.976$) and **1.130** (SE=0.03684, $r^2=0.947$) during the 1996-1999 and 2005-2008 periods, respectively (Figure 11).

For adult females, the best model included a constant survival (0.944, SE=0.0225) and a constant recapture rate (0.975, SE=0.0172; AIC of 75.092 for the constant model vs. 78.417 for the model with time-dependent resighting probability and 76.190 for the model with time-dependent survival). For sub-adult females, the same simplest model best fitted the data with a constant survival (0.945, SE=0.0226) and a constant recapture rate (0.979, se=0.0194) (AIC of 58.364 for the constant model vs. 62.135 for the model with time-dependent resighting probability and 60.175 for the model with time-dependent survival). From the analysis of giraffe marked as sub-adults, there was no difference in yearly survival between sub-adults and adults (0.945 (SE=0.026) vs. 0.944 (SE=0.0225) for sub-adults and adults, respectively). Therefore, we retained a constant survival of 0.945 for both adult and sub adult females.

Between 2005 and 2008 the juvenile and yearling survival rate were 1. Therefore, reproductive success and fecundity were identical. Considering a balanced sex ratio at birth the reproductive success was 0.312. When using the observed sex ratio at birth (0.57) in the population, the reproductive success was a little lower, with a value of 0.257 (Table 2).

The Leslie matrix estimate of λ was **1.135** using a balanced sex ratio among calves and **1.112** when the observed biased sex ratio towards male calves was included. The elasticity of λ to

changes of recruitment was 0.103; therefore the generation time was 9.66 years. The elasticity of λ to changes of adult survival was 0.896.

Discussion

For adult females, a model of constant survival and capture probabilities best described the data collected for giraffe in Niger. The high and constant recapture probability indicated that quasi-exhaustive counts were performed from 2005 to 2008. Such quasi-exhaustive counts were possible thanks to: (1) a relatively low absolute number of giraffes, (2) a population concentrated within a limited area during the counting period, and (3) an important capture effort as fieldwork teams worked until no new giraffe was detected.

Reproductive success is high in this population as the juvenile survival was 1 and all adult females reproduce regularly. Nevertheless, the reproductive success calculated using the observed sex ratio biased in favour of male calves was, as expected, lower than the reproductive success calculated with a balanced sex ratio. Unbalanced sex ratio among calves already has been observed in other giraffe populations (Innis, 1958; Cooper, 1980) and should be taken into account when studying giraffe population dynamics. A reversed unbalanced sex ratio in favour of females was observed for the adult and sub-adult classes during both study periods (e.g. 1996-1999 and 2005-2008). In 1996, the population structure was mostly driven by the impacts of hunting, and the observed female-biased sex ratio in adult and sub-adult giraffe was likely caused by a poaching pressure focused on males. During the 2005-2008 period the unbalanced sex ratio in favour of females in the adult and sub-adult giraffe likely corresponded to a lower survival of males compared to females, as expected in a dimorphic ungulate species (e.g., Toïgo and Gaillard 2003, Isvaran and Clutton-Brock 2007).

We note that Table 1 shows that male calves in 2006 (N=9) were not all included in the yearling age class the year after (N=5). We based age determination on observations. Two calves recorded in 2006 at about 6 months of age were classified as sub adults (e.g., from 18 months to 4 years of age) in 2007 instead of being classified as yearling (e.g., 6 months to 18 months). Others calves observed in 2006 were not included in 2007 as yearling because they were just not seen in 2007 but were seen again afterwards (in 2008), providing clear evidence that they were alive but not observed in 2007.

The population growth rate estimated from the demographic model including the offspring sex ratio biased in favour of males was lower than that estimated from counts, as expected when using a female-based model (Owen-Smith, 1988). Using a balanced sex ratio the growth rate estimated with the demographic model was very close to the growth rate estimated from giraffe counts, as expected with quasi-exhaustive counts with a very high detection probability (0.94). As suggested by Largo *et al.* (2008) when counting is less exhaustive, population growth rates estimated from demographic models can markedly differ from growth rate calculated from annual counts. In our particular case, the relatively low number of individuals means that even a low number of undetected individuals can cause quite large error in estimated growth rates from counts. We thus recommend using population growth obtained from demographic models at low population size.

Why such a high growth rate from 1996 to 2008?

As expected in a long-lived species like giraffe, the elasticity of λ to survival change was very high (0.90). A given variation in survival after one year of age would thus have almost nine times more impact on λ than the same variation in recruitment. Predation is often the principal factor affecting survival in African ungulates (Owen-Smith *et al.*, 2005). In giraffe, predation predominantly affects young. As a result the most limiting factor of giraffe population growth rate is juvenile survival when the illegal hunting of adult giraffe is prevented. In a three-year study, Foster & Dagg (1972) reported a high mortality rate in juveniles in Nairobi National Park, Kenya, where about 75% of young died within their first year of life, with a mortality peak occurring during the first months of life. In another study based on a smaller sample size, Pellew (1983) found that first year mortality of giraffe in the Serengeti NP was about 60% and a mortality peak occurred in the first months of life too. Estimated adult mortality in the protected Serengeti NP environments was 5-10%, leading to population growth of 6%. The annual growth rate of the West African giraffe population estimated between 1996 and 2008 in this study was much higher. Such strong population recovery can be explained by the absence of predators and by a severely limited illegal hunting, likely corresponding to the λ -max of giraffe. Recruitment in the Niger population was very high. However, if we compare the Niger population with the Serengeti NP one (Pellew, 1983), both highlight increasing populations, the observed proportion of first year calves are very similar (15% in Serengeti vs. 16% in Niger) despite a much lower

growth rate in the Serengeti NP. Taking into account the high first year mortality of giraffe in the Serengeti NP (60%), we can assume the estimation by counting in Serengeti NP overestimated the proportion of first year calves.

During the period 1996-1999 λ was higher than the expected λ -max of a browser similar to giraffe in size. An especially high growth rate could have taken place during the 1996-1999 period due to an unbalanced population structure including a very high proportion of adult females (47% in 1996) and a very low number of individuals, allowing thereby a fast increase of the population. Such deviations from the asymptotic age structure are widespread in vertebrate populations and, although they are generally neglected, have to be accounted for (see Koons et al., 2005).

An increasing ungulate population of a browser species of the size of giraffe is expected to have a λ -max of 1.138 based on the allometric relationship linking growth rate and size in ungulates (Gaillard *et al.*, 2008). This value is close to the λ estimated here for the 2005-2008 period based on count data and demographic data. This high value of λ observed here perfectly matches the λ -max expected from the allometric relationship established using browser species spanning a large range of size. This suggests that megaherbivores might not exhibit biomechanical conditions that would differ from those of smaller species. Our study demonstrates that under favourable conditions, a population of giraffe can reach the theoretical maximum growth rate expected for its size and diet. Likewise, considering the allometric relationship linking generation time and body mass specific to large herbivores with a browser diet type (Gaillard et al., 2008), the predicted value of generation time (10 years) is also very close to the observed one (9.66 years). Recently, Foley & Faust (2010) reported a rapid growth of an elephant population under good environmental conditions after being released from the stresses of heavy illegal hunting (average growth rate of 6.8% observed over 13 years and close to the max of 7% calculated by Calef (1988)). These studies indicate that megaherbivores can grow at higher rates than previously expected, and that allometric relationships might be extrapolated up to very large species contrary to what was suggested before empirical data of high quality were available (see Owen-Smith, 1988).

A sustainable situation?

Niger is faced with a situation of spectacular giraffe population recovery after a period of high illegal hunting. The giraffe population has been recovering since 1996 when poaching was controlled. We recorded from 2005 to 2008 an annual growth rate of approximately 12-13%, the highest value ever reported for giraffe. Even though the population is still increasing, the tiger bush, which is the major rainy season habitat and forage for giraffe, is rapidly declining as a result of increasing agriculture and wood cutting (Morou et al., 2009). Between 1975 and 2002, agricultural activities in the giraffe distribution range increased from 50 to 80% of the area (Abdou, 2005). With an increase of the giraffe population occurring simultaneously with the ongoing destruction of their habitat, human-giraffe conflicts are expected to increase, as suggested by Leroy et al. (2009). As such, giraffe have adapted their feeding behaviour to associated human activities, and have been reported sometimes to damage local agriculture crops such as beans and mangos (Morou et al., 2009; Leroy et al., 2009). In one of the poorest country of the world, these conflicts are a potential threat for the long-term sustainability of giraffe. The current ecological and economical contexts lead us to assume that the high yearly growth rate observed over the recent past will not persist. We can indeed expect a potential spilt of the population into several sub-populations when giraffe will look for more favourable habitats, e.g. with greater food availability and quality and lower human disturbance. Although the carrying capacity of the giraffe core range is difficult to assess, we expect it will decrease with decreased food resources and increased human disturbance. This should lead giraffe to settle outside their current core area. Exploration trips have been recorded recently when some giraffes were observed far from their core range. For instance, three herds of giraffe were observed in 2008 close to the Mali border at approximately 150km north from the giraffe core range. While seeking new areas, giraffe are likely to be more vulnerable to hunters, especially in neighbouring Mali or Nigeria. In 2000, all the five giraffe observed in Mali were poached (I. Ciofolo pers. comm.). In 2007, two giraffes were killed in Nigeria soon after crossing the border.

The critical population size to escape the endangered status following the IUCN Red List Assessment criteria should be at least 400 individuals (Fennessy & Brown, 2008). We are still far below this number with only around 220 individuals. Further detailed monitoring of known giraffe, assessment of habitat use, and mitigation of the human-giraffe conflicts should allow us

to propose an effective management and a strategy for long-term conservation of the endemic West African giraffe.

Acknowledgements:

The field work from 2005-2008 and data analysis could not be possible without the good collaboration of the Direction of the Fauna, Hunting and Protected Areas of the Niger Environment Ministry, the ASGN, the AVEN, the ECOPAS project, students from Abdou Moumouni University (Niger) and from UQAM University (Québec) and without the financial help of Prince Albert II de Monaco Foundation, Giraffe Conservation Foundation (financial and scientific support), Doué la Fontaine zoo, South Lakes Wild Animal Park, Nature & Découverte Foundation, Arborescence Association, CEPA association, Touroparc, Cerza Park, African Wildlife Foundation, and Mohamed Ben Zaïed Foundation.

References

- Abdou, N. (2005) *Etude prospective des sites de formations contractées dans certaines zones de l'Ouest nigérien (Fandou et Tombo) dans la perspective de la décongestion de la zone de Kouré habitat actuel des Girafes*. Mcs report, Niamey University, Niamey, Niger.
- Brooks, E.N. & Lebreton, J.D. (2001) Optimizing removals to control a metapopulation: application to the yellow legged herring gull (*Larus cachinnans*). *Ecological Modelling*, 136, 269-284.
- Brown, D.M., Brenneman, R.A., Koepfli, K.P., John P., Pollinger, J.P., Milá, B., Georgiadis, N.J., Louis, E.E., Grether G.F., Jacobs, D.K. & Wayne, R.K. (2007) Extensive population genetic structure in the giraffe. *BMC Biology*, 5:57.
- Calef, G. (1988) Maximum rate of increase in the African elephant. *African Journal of Ecology*, 26, 323-327.
- Caswell, H. (2001) *Matrix population models*. 2nd edn. Sinauer Associates, Sunderland, Mass.
- Caughley, G. (1977) *Analysis of vertebrate populations*. Wiley, London, UK.
- Choquet, R., Reboulet, A.M., Pradel, R., Gimenez, O. & Lebreton, J.D. (2004) *User's Manual for M-SURGE 1.4. Mimeographed Document*. CEFÉ/CNRS, Montpellier, France.
- Choquet, R., Reboulet, A.M., Lebreton, J.D., Gimenez, O. & Pradel, R. (2005) **U-CARE 2.2 User's Manual**. CEFÉ/CNRS, Montpellier, France.
- Ciofolo, I. (1995) West Africa's last giraffes. The conflict between development and conservation. *Journal of Tropical Ecology*, 11, 577-588.
- Ciofolo, I. (1998) *Rapport final de mission du Projet d'Utilisation des Ressources Naturelles de Kouré et du Dallol Bosso Nord*. PURNKO report, Niamey, Niger.
- Ciofolo, I., Le Pendu, Y. & Gosser, A. (2000) Les girafes du Niger, dernières girafes d'Afrique de l'Ouest. *Revue d'Ecologie (La Terre et La Vie)*, 55, 117-128.

- Cooper, T.G. (1980) *A brief summary of results by quarterly game counts conducted in the central section of Skeleton Coast Park for the period October 1978-December 1980*. Unpublished report. Department of Agriculture and Nature Conservation, S.W.A, Namibia.
- Dagg, I. & Foster, J. (1982) *The Giraffe: its biology, behaviour and ecology*. Krieger Publishing Co., U.S.A.
- Eberhardt, L. (1991) Models of ungulates populations dynamics. *Rangifer*, 7, 24-29.
- East, R. (1999) *African Antelope Database 1998*. IUCN/SSC Antelope Specialist Group, IUCN Gland, Switzerland and Cambridge, UK.
- Fennessy, J. (2003) Distribution and status of the desert-dwelling giraffe (*Girafa camelopardalis angolensis*) in the northwestern Namibia. *African Zoology*, 38, 184-188.
- Fennessy, J. & Brown, D. (2008) *Giraffa camelopardalis ssp. peralta*. *IUCN Red List of Threatened Species*. IUCN, Gland, Switzerland. [Http://www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org) [accessed 4 February 2010].
- Foley, C. & Faust, L. (2010) Rapid population growth in an elephant population recovering from poaching in Tarangire National Park, Tanzania. *Oryx*, 44, 205-212.
- Foster J. (1966) The giraffe of Nairobi National Park: Home range, sex ratios, the herd and food. *East African Wildlife Journal*, 4, 139-148.
- Foster, J. & Dagg, I. (1972) Notes on the biology of the giraffe. *East African Wildlife Journal*, 10, 1-16.
- Gaillard, J.M., Festa-Bianchet, M., Yoccoz, N.G., Loison, A., Toïgo, C. (2000) Temporal variation in fitness components and population dynamics of large herbivores, *Annual Review of Ecology and Systematics*, 31, 367-393.
- Gaillard, J.M. & Yoccoz, N. (2003) Temporal variation in survival of mammals: a case of environmental canalization? *Ecology*, 84, 3294-3306.

- Gaillard, J.M., Yoccoz, N.G., Lebreton, J-D., Bonenfant, C., Devillard, S., Loison, A., Pontier D. & Allainé D. (2005) Generation time: a reliable metric to measure life history variation among mammalian populations. *The American Naturalist*, 166, 119-123.
- Gaillard, J.M., Duncan, P., Van Wieren, S.E., Loison, A., Klein, F. & Maillard, D. 2008. Managing large herbivores in theory and practice: Is the game the same for browsing and grazing species ? In *The ecology of browsing and grazing* (eds I.J. Gordon, H.H.T. Prins), pp. 293-307. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany.
- Hassanin, A., Ropiquet, A., Gourmand, A.L., Chardonnet, B., & Rigoulet, J. (2007) Mitochondrial DNA variability in *Giraffa camelopardalis*: consequences for taxonomy, phylogeography and conservation of giraffes in West and central Africa. *C.R. Biologies*, 330, 265-274.
- Innis A. (1958) The behaviour of the giraffe, *Giraffa camelopardalis*, in the eastern Transvaal. *Proceedings of the Zoological Society*, 131, 245-278.
- Isvaran, K. & Clutton-Brock, T.H. (2007). Ecological correlates of extra-group paternity in mammals. *Proceedings of the Royal Society of London Series B* 274, 219–224.
- Koons, D.N., Grand J.B., Zinner, B. & Rockwell R.F. (2005) Transient population dynamics: Relations to life history and initial population state. *Ecological Modelling*, 185, 283–297.
- Largo, E., Gaillard, J.M., Festa.Bianchet, M., Toïgo, C., Bassano, B., Cortot, H., Farny, G., Lequette, B., Gauthier, D. & Martinot, J.P. (2008) Can ground counts reliably monitor ibex *Capra* ibex populations? *Wildlife Biology*, 14, 489-499.
- Lebreton, J-D. & Millier, C. (1982) *Modèles dynamiques déterministes en biologie*. pp 208. Masson, Paris, France.
- Lebreton, J.D., Burnham, K.P., Clobert, J. & Anderson, D.R. (1992) Modelling survival and testing biological hypotheses using marked animals: a unified approach with case studies. *Ecological Monographs*, 62, 67-118
- Le Pendu, Y. & Ciofolo, I. (1999) Seasonal movements of giraffes in Niger. *Journal of Tropical Ecology*, 15, 341-353.

- Leroy et al. R., De Visscher, M.N., Halidou, O. & Boureïma, A. (2009) The last African white giraffes live in farmers' fields. *Biodiversity and conservation*, 10, 2663-2677.
- Leslie, P. (1945) On the use of matrices in population mathematics. *Biometrika*, 33, 182-212.
- Leuthold, B.M. (1978) Ecology of the giraffe in Tsavo East National Park, Kenya. *African Journal of Ecology*, 16, 1-20.
- Mauny, R. (1957) Répartition de la grande faune éthiopienne du Nord-Ouest africain du Paléolithique à nos jours. *Bulletin IFAN*. 7, 246-278.
- Morou, B., Ambouta, J.M.K., Mahamane A. & Oumani A. (2009) *Interaction entre hommes et girafes dans la zone de distribution de la girafe au Niger*. Annales de l'Université Abdou Moumouni, pp. 75- 86. Niamey, Niger.
- Ngog Nje J. (1983) Structure et dynamique de la population de girafes du parc National de Waza, Cameroun. *La Terre et la Vie*, 37, 1-20.
- Owen-Smith, N. (1988) The influence of very large body size on ecology. *Megaherbivores*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 369 pp.
- Owen-Smith, N., Mason, R.R. & Ogutu, J.O. (2005) Correlates of survival rates for ten African ungulate populations: density, rainfall and predation. *Journal of Animal Ecology* 74, 774–788.
- Pellew, R. (1983) The giraffe and its food resource in the Serengeti. Response of the giraffe population to changes in the food supply. *African journal of Ecology*, 21, 269–283.
- Pfeffer, P. (1981) Les dernières girafes occidentales, une action exemplaire du WWF. *Panda*, 6, 9-10.
- R Development Core Team (2005) *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Saadou, M. (1996) La végétation du Niger. *Environnement du Niger*, pp. 51 – 66.
- Seymour, R. (2002) Patterns of Subspecies Diversity in the Giraffe, *Giraffa camelopardalis* (L. 1758): *Comparison of Systematic Methods and their Implications for Conservation Policy*. PhD

Thesis. Institute of Zoology, Zoological Society of London and The Durrell Institute for Conservation and Ecology, University of Kent, UK.

Sidney, J. (1965) The past and present distribution of some African ungulates. *The zoological Society of London*, 30, 139-168.

Suraud, J.P. & Dovi, O. (2006) The giraffes of Niger are the last in all West Africa. *IUCN Bi-Annual Newsletter of the International Giraffe Working Group (IGWG)*, 1, 8-9

Suraud, J.P. & Dovi, O. (2007) Giraffes of Niger—2006 census. *Bi-Annual Newsletter of the International Giraffe Working Group (IGWG)*, 1, 12-13.

Suraud, J.P. (2008) Giraffes of Niger, 2007 census and perspectives. *Bi-Annual Newsletter of the International Giraffe Working Group (IGWG)*, 1, 4-7.

Suraud, J.P. (2009). 200 Giraffes in Niger! *Bi-Annual Newsletter of the International Giraffe Working Group (IGWG)*, 1, 32-33.

Suraud, J.P. Giraffe of Niger census 2009, end of the spectacular recovery? *In press*.

Toïgo, C. & Gaillard J.M. (2003) Causes of sex-biased adult survival in ungulates: sexual size dimorphism, mating tactic or environment harshness? *Oikos*, 101, 2, 376–384.

Tableau 1 Distribution of the Giraffe population in Niger by sex and age classes from 2005 to 2008. 2005 data: Suraud & Dovi (2006). 2006 data: Suraud & Dovi (2007). 2007 data: Suraud (2008). 2008 data: Suraud (2009)).

Age	Sex	2005	2006	2007	2008
Calf	Female	2	5	3	4
	Male	7	9	15	7
Yearling	Female	9	12	8	21
	Male	8	11	5	23
Sub-adult	Female	11	10	16	11
	Male	5	11	14	12
Adult	Female	57	50	59	69
	Male	36	36	41	45
Total		135	144	164 *	193 **

* + 3 calves' sex unknown ** + 1 calf' sex unknown

Tableau 2 Reproductive success of giraffe females in Niger from 2005 to 2008

Period	Reproductive success
2005	0.193
2006	0.34
2007	0.186
2008	0.309
Average	0.257

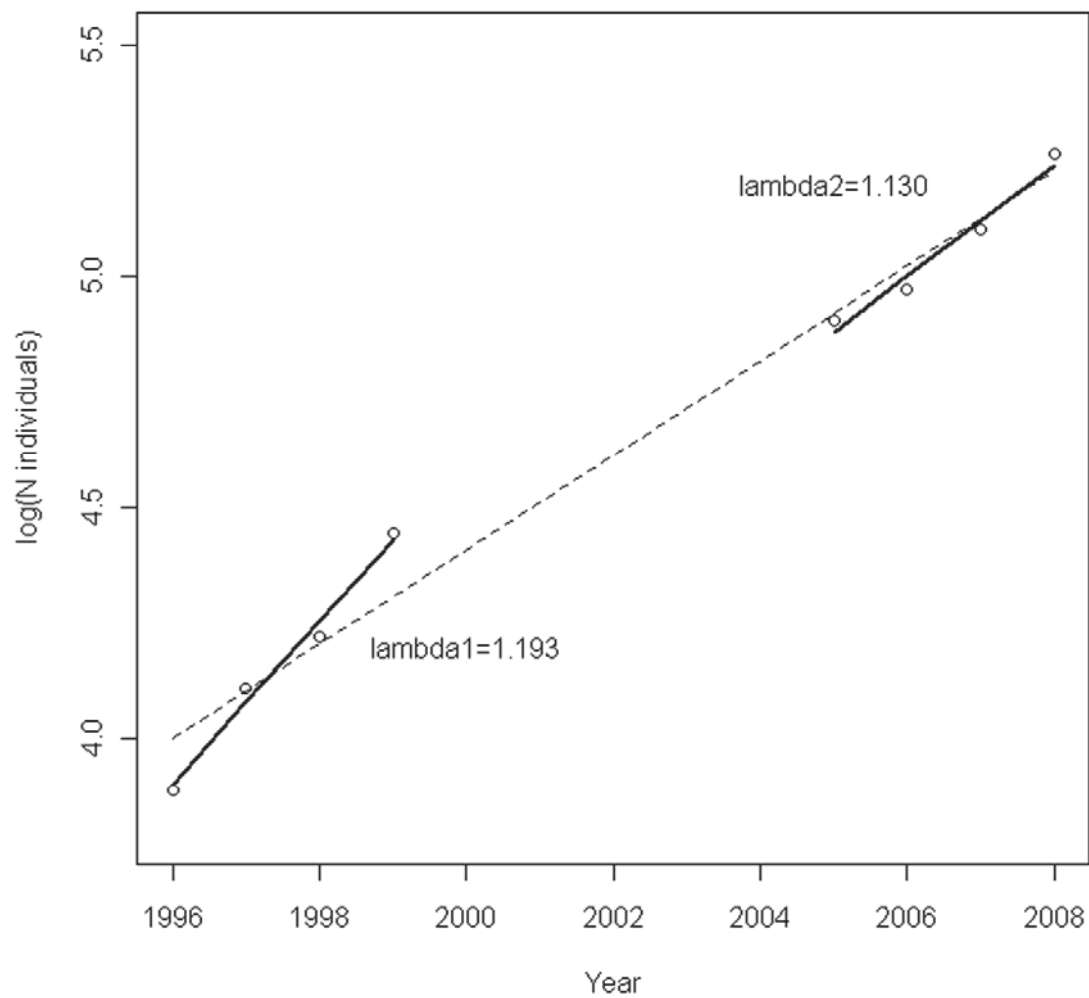


Figure 11 Log-transformed annual counts of giraffe in Niger from 1996 to 2008. Data from 1996 to 2000: Ciofolo et al. (2000). 2005 data: Suraud & Dovi (2006). 2006 data: Suraud & Dovi (2007). 2007 data: Suraud (2008). 2008 data: Suraud (2009).

D. 2009, une année pas comme les autres...

Les analyses présentées, dans l'article sous presse dans Oryx se basent sur les résultats des comptages de 1996 à 1999 et de 2005 à 2008. L'analyse des comptages sur ces périodes, montrent une croissance exponentielle de la population, avec un taux annuel d'environ 12%, un record pour une population de girafes. De plus, l'analyse démographique sur la période 2005-2008 montre des taux de survie et de recapture élevés et constants. Les résultats du comptage 2009 sont différents des années précédentes. Lors du comptage 2008, nous avons recensé 193 girafes. En 2009, nous avons réalisé un comptage, avec la même méthode que les années précédentes. Connaissant le taux de croissance constant d'environ 12% de 2005 à 2008, et dans la mesure où les comptages étaient jusqu'alors quasiment exhaustifs, si les conditions étaient semblables aux recensements précédents, nous nous attendions en 2009 à compter environ 215 - 220 individus. Le comptage 2009 nous a permis de compter « seulement » 188 girafes.

Tableau 3 Nombre d'individus recensés au cours du comptage 2009 par classe d'âge et par sexe

	Adultes	Sub adultes	Jeunes	Girafons	Total
Mâles	37	17	17	6	77
Femelles	70	17	13	6	106
Total	107	34	30	12	183
+ 5 girafon de sexe indéterminé					188

Compte tenu de ce résultat surprenant, nous avons cherché à déterminer les raisons probables de ce changement par rapport à la période 2005-2008. Nous n'avons pas refait les calculs de survie et recapture par classe d'âge à partir des données CMR. Une simple analyse descriptive nous a permis de mieux comprendre en quoi les résultats du comptage 2009 ont été différents des années précédentes. L'interprétation du tableau de comptage 2009 détaillant le nombre d'individus par classe d'âge et par sexe montre cette année-là encore un fort taux de recrutement qui est comparable à celui de la période 2005-2008. Il n'y a pas eu proportionnellement moins de naissances en 2009. Par contre, un nombre considérable de girafes n'ont pas été revues en 2009 par rapport à 2008. Nous nous sommes donc intéressés dans un deuxième temps au nombre et à la répartition par classe d'âge et de sexe des girafes vivantes en 2008, et non revues en 2009.

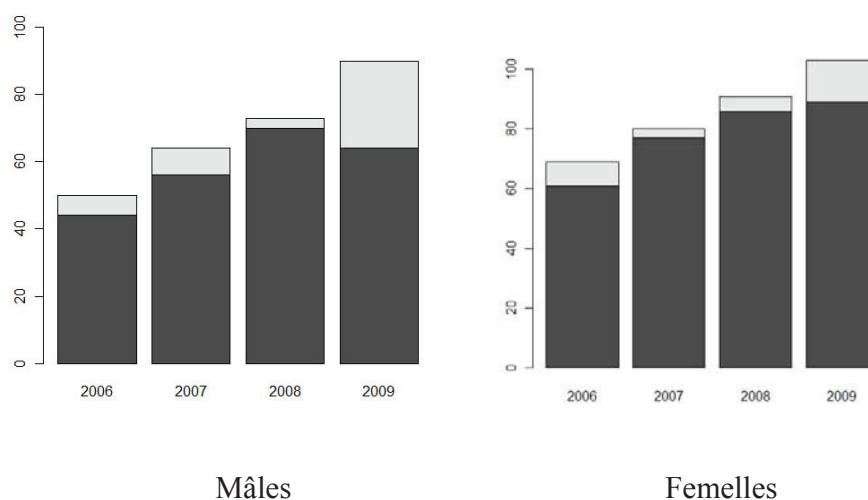


Figure 12 Nombre de mâles et femelles présents une année, et revus l'année suivante. Les individus à risque sont en gris clair, les individus vus une année et revus l'année suivante sont en gris foncé.

De 2005 à 2008, la très grande majorité des individus vus une année le sont l'année suivante. Contrairement aux années précédentes, en 2009, le taux de recapture visuelle subit une forte diminution, et ceci est particulièrement accentué chez les mâles adultes et sub-adultes, comme le montre le Tableau 4, 38 individus vivants en 2008 n'ont pas été revus en 2009, incluant 26 mâles et 12 femelles (soit environ 3 fois plus que les années précédentes). Parmi ces individus, 7 girafes (5 mâles et 2 femelles) ont été observées mortes, soit plus que la somme des 4 années précédentes. Les mortalités observées ont des causes variées (e.g. braconnage, mort de vieillesse, accident avec des véhicules), cependant, on note que 2 mâles sont morts suite à des combats, ce qui très rare chez des girafes sauvages (Simmons & Scheepers, 1996).

La grande majorité des individus vivants en 2008 et non revus en 2009 étaient vivants mais non vus. En effet, la plupart des individus non revus pendant le comptage 2009 ont été observés lors des travaux de terrain en 2010, à l'exception de 4 individus. L'hypothèse la plus probable est que ces girafes avaient quitté les zones de comptage en 2009.

Nous avons ensuite cherché à déterminer à quelles classes d'âge et de sexe appartenaient les girafes non revues mais toujours vivantes en 2009.

Tableau 4 Proportion d'individus par classe d'âge et de sexe vues en 2008 et non revues en 2009 (en excluant les girafes vues mortes)

	Adultes	Sub adultes	Jeunes / Girafons
Mâles	22%	38%	16%
Femelles	8%	9%	16%

Parmi les individus non revus en 2009, 70% sont des mâles, dont 55% sont des mâles adultes et sub-adultes.

Ces résultats sont cohérents avec une saturation progressive de l'habitat par les girafes, qui touche toutes les classes d'âge et de sexe. Des troupes entières ont sans doute quitté la zone de comptage en 2009. Cependant la forte proportion de mâles adultes et sub-adultes qui ont quitté la zone de comptage suggère une réponse forte des mâles adultes et sub-adultes, sans doute en lien avec la forte compétition sexuelle qui existe chez les mâles (voir partie 2, Simmons & Scheepers, 1996). La mort de deux mâles suite à des combats en 2009 tend à confirmer cette hypothèse.

- **Conclusions sur la partie**

Depuis l'arrêt du braconnage en 1996, et grâce à l'absence de prédation, la population des girafes se restaure avec un taux de croissance très élevé qui correspond pour la période 2005-2008 au taux de croissance maximum théorique calculé pour un browser basé sur la relation allométrique reliant taux de croissance et masse corporelle. Si les paramètres démographiques sont proche du maximum sur cette période pour la population (e.g. chez les femelles, taux de survie adulte de 0.94, et taux de survie juvénile de 1), les résultats du recensement 2009 semblent indiquer qu'une partie des girafes ont quitté les zones de comptage cette année-là, ce qui pourrait laisser présager une saturation progressive de l'habitat. Il ne faut évidemment pas tirer de conclusion hâtive à partir de ce dernier résultat, mais il nous est apparu nécessaire de renseigner la distribution spatiale des girafes et d'évaluer les contraintes et facteurs déterminant la distribution des girafes à l'échelle de la population, du troupeau (données d'observation), et individuelle (colliers GPS). A l'échelle individuelle nous avons essayé de comprendre la relation entre la girafe et deux éléments de son environnement : les habitats (ressources clés), et les hommes (source de perturbation).

Partie IV

Utilisation et sélection de l'habitat



A. Utilisation et sélection de l'habitat, aspects théoriques

1. Le concept de niche écologique

La niche écologique est un terme de l'écologie souvent employé, et dont la définition fait toujours débat. Historiquement, Grinnell (Grinnell, 1917) est le premier à proposer une définition du terme, très proche de la définition de l'habitat de Hall (Hall et al. 1997). La niche Grinnellienne est définie comme l'ensemble des caractéristiques environnementales qui permettent aux individus d'une espèce de survivre et se reproduire. La niche Grinnellienne met donc en avant l'influence de l'environnement sur les individus d'une espèce. Pour Elton (Elton, 1927), la niche écologique est la fonction qu'occupe l'espèce dans la communauté dont elle est un membre. Cette définition fonctionnelle de la niche s'intéresse donc à l'influence de l'individu sur son environnement. Aujourd'hui, la définition qui a révolutionné le concept de niche, est celle de Hutchinson (Hutchinson, 1957). Selon lui, les n variables environnementales définissent un espace multidimensionnel, chaque variable correspondant alors à une dimension dans cet espace. La niche est un hypervolume dans cet espace dans lequel l'espèce peut maintenir une population viable. La niche devient donc un objet mathématique qui peut être analysé avec des outils statistiques appropriés. Hutchinson va plus loin, et introduit les notions de niche fondamentale et niche réalisée. La niche fondamentale correspond à la niche occupée par un organisme sans contrainte. On comprend aisément que cette niche a peu de chance d'être observée dans la nature. La niche réalisée prend en compte les interactions et contraintes spatiales entre les individus. Cette définition de la niche est plus réaliste, car les individus sont contraints de partager les ressources avec les conspécifiques ou avec d'autres espèces, et, nous allons le voir, des contraintes empêchent parfois les individus d'utiliser l'habitat de meilleure qualité, par exemple à cause de la prédation.

2. Le concept d'habitat

Le terme habitat en écologie est sans doute un des mots les plus utilisés et aussi un des plus ambigus. Suivant le contexte, l'habitat peut représenter un biome, un écosystème, une communauté, un patch d'alimentation. Ainsi, ce terme a de nombreuses définitions. Hall et al. (1997) constatent un manque de standardisation du terme, ce qui induit une grande confusion. Aussi, ces auteurs ont proposé une définition de l'habitat: l'habitat correspond aux ressources et conditions présentes sur une zone qui produisent son occupation, incluant la survie et la

reproduction, pour un organisme donné. Ainsi, l'habitat n'a de sens qu'en relation avec une espèce, une population ou individus (Morris, 2003), et est donc spécifique au contexte d'étude. Les autres individus (de la même espèce ou non), les ressources, les conditions environnementales, le dérangement par l'homme, font donc partie de l'habitat. L'habitat, en plus de sa composante écologique, a aussi une composante spatiale (Morrison, 2001). L'habitat étant généralement compris comme l'endroit où l'animal réside, Morrison définit l'habitat comme la surface physique occupée par un animal durant une période donnée (une définition proche de celle du concept de domaine vital, Benhamou, 1996). La définition de l'habitat retenue dans le cadre de ce travail, est celle de Hall et al. (1997).

3. La sélection d'habitat

La sélection de l'habitat par un individu fait intervenir des mécanismes de décision innés ou acquis, et est définie comme l'utilisation disproportionnée de certaines ressources par rapport à ce qui est disponible (Johnson, 1980). La sélection de l'habitat au niveau individuel est à l'origine de la distribution spatiale des individus, mais aussi des populations et des espèces. La sélection de l'habitat est décrite comme un processus hiérarchique à plusieurs échelles (Levin, 1992). Les échelles de sélection sont intimement liées car, par exemple, le choix de l'habitat d'un individu sera conditionné par la distribution spatiale de la population. Les échelles spatiales et temporelles sont par ailleurs imbriquées: à large échelle, la distribution d'une espèce peut varier en réponse aux grands changements climatiques. Par exemple, il y a 6000 ans, l'aridité du climat a poussé les girafes vers le sud. Les girafes étaient alors présentes dans une partie de l'actuel Sahara (Hassanin, 2007). A l'échelle individuelle, la sélection d'habitat d'un herbivore peut varier saisonnièrement en fonction de la qualité et la disponibilité des ressources, en lien avec la pluie et la phénologie des plantes. Enfin, à l'échelle d'une journée, des changements de sélection d'habitat peuvent se produire (e.g. chez le rhinocéros noir, Morgan, 2010), pour éviter des prédateurs nocturnes par exemple (Halle & Stenseth, 2000). Johnson a proposé en 1980 4 échelles de sélection qui font aujourd'hui référence. Le premier ordre de sélection correspond à la distribution géographique de l'espèce. Le deuxième ordre de sélection correspond au domaine vital individuel. Le troisième ordre de sélection est la sélection d'un habitat à l'intérieur du domaine vital. Le quatrième ordre de sélection correspond enfin au patch d'alimentation.

Avant de mettre en évidence la sélection de l'habitat par une espèce, il faut pouvoir déterminer les habitats qu'elle utilise. Dans le cas d'études populationnelles, il faut collecter des données qui reflètent la distribution des animaux sur la zone. Dans le cas d'études à l'échelle individuelle, les animaux sont observés ou localisés (e.g. suivis par observation, collier VHF ou GPS) à intervalles réguliers pendant une période donnée. L'utilisation de l'espace est alors mesurée comme étant la proportion de temps passé par l'animal dans chaque type d'habitat.

La sélection de l'habitat sous-entend qu'il existe des habitats de bonne qualité et d'autres de mauvaise qualité. Mais qu'est-ce qu'un habitat de bonne qualité ? C'est un habitat qui apporte ressource et conditions nécessaires pour assurer la survie et la reproduction (Manly et al. 2002). Un habitat de bonne qualité sera donc celui qui maximise la performance démographique des individus qui l'occupent. Sélection de l'habitat et dynamique de la population sont donc intimement liés (Gaillard et al. 2010).

Selon la théorie de l'« Optimal Foraging » (Stephens & Krebs, 1986), la stratégie développée au niveau individuel consiste à maximiser le taux net de prise énergétique par unité de temps, qui *in fine* optimisera la fitness. Ainsi, les patches de meilleure qualité sont sélectionnés, et les coûts liés à l'alimentation, comme le risque de prédation, réduits (Pyke, 1984). La théorie de la Distribution Libre Idéale (Fretwell & Lucas, 1969) prend en plus en compte la compétition intra-spécifique. Selon cette théorie, les individus vont s'agréger dans les patches d'alimentation proportionnellement à la quantité des ressources disponibles dans chaque patch. Ainsi la théorie de la Distribution Libre Idéale prédit la distribution des individus qui sont en compétition pour les ressources. Tout comme pour l'« Optimal Foraging », selon la théorie de la Distribution Libre Idéale, les individus se distribuent pour maximiser leur fitness. En conséquence, à l'équilibre, tous les individus ont la même fitness. A densité élevée, la présence de conspécifiques augmente la compétition pour les ressources et fait décroître la disponibilité de patches d'alimentation de haute qualité. Néanmoins, cette théorie ne prend pas en compte les relations hiérarchiques souvent présentes chez les espèces sociales, où les individus dominés ne peuvent se distribuer de façon libre, et sont obligés d'utiliser les habitats de mauvaise qualité. Ce système de distribution des individus est appelé la Distribution Despotique Idéale (Fretwell & Lucas, 1970).

En théorie, pour pouvoir mesurer la qualité de l'habitat, il faudrait pouvoir mesurer la performance des individus (e.g., leur survie et leur reproduction), voire leur valeur sélective, et la corrélérer aux caractéristiques de l'environnement (Calenge, 2005). En pratique, on suppose le plus

souvent que la présence est proportionnelle à la valeur sélective (Pearce & Ferrier 2001). Le temps passé à une activité n'est pas forcément proportionnel à son importance (Morrison et al. 1992). En effet, boire ne peut prendre que quelques minutes par jour, mais est indispensable à la survie.

D'autre part, il est parfois difficile d'estimer l'habitat disponible pour un individu. Le disponible est défini par ce qui est accessible à l'individu (Hall et al. 1997), il doit donc avoir un sens biologique pour l'animal (Aebischer et al. 1993). Ainsi, nous devons mesurer ce que l'animal perçoit (Morrison, 1992) et qui permet sa persistance, ce qui implique d'estimer la sélection de l'habitat en fonction de variables environnementales pertinentes pour l'animal.

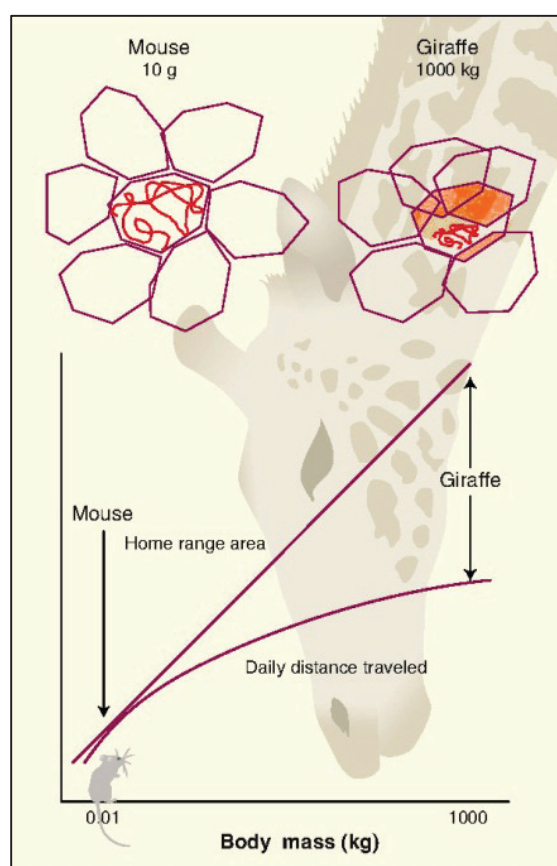
Pour étudier la sélection de l'habitat, Thomas & Taylor (1990) proposent des plans (« designs ») d'étude correspondant aux 3 premiers ordres de sélection de Johnson (Johnson, 1980). Ainsi dans le « design 1 » qui correspond à l'ordre de sélection 1, l'étude se situe au niveau populationnel. La disponibilité et l'utilisation de l'habitat sont estimées au niveau de la population, et les individus ne sont pas marqués. Le « design 2 » correspond à la sélection de l'habitat au niveau de l'individu et de son domaine vital, par rapport aux autres individus. Ce type d'étude implique un habitat disponible commun aux individus et des individus marqués. Le « design 3 » correspond à la sélection d'habitats particuliers pour un individu à l'intérieur de son domaine vital. Les plans d'étude proposés par Thomas et Taylor ont été complétés par Erickson et al. (2001) qui ont proposé des protocoles de type 4 pour répondre à l'augmentation de données obtenues grâce à l'utilisation croissante des émetteurs GPS. Ces derniers sont largement utilisés dans le cadre de la sélection d'habitat individuelle (e.g. Cagnacci et al. 2010). En effet, ils peuvent mesurer à des fréquences très rapides (e.g. une localisation / heure) les localisations des individus équipés. Le « design 4 » prend en compte les variations temporelles de la disponibilité des habitats.

4. Le concept de domaine vital

L'idée selon laquelle un individu restreint ses mouvements à une zone finie est sans doute aussi vieille que l'écologie. Burt (1943) propose une définition du domaine vital, où celui-ci est présenté comme la surface traversée par un individu pour assurer ses activités normales, comme l'alimentation, ou la reproduction. Les premières études souhaitant établir un lien entre masse corporelle, et taille de domaine vital ont suggéré que le domaine vital augmentait proportionnellement avec le métabolisme. Chez les animaux, le taux métaboliques (besoins

énergétiques) augmente de façon allométrique avec la masse avec un exposant de $\frac{3}{4}$ (Kleiber, 1947). Si l'universalité de cet exposant a été remis en questions (chez les petits mammifères, l'exposant serait de 0.66, White et al. 2007), il n'en demeure pas moins que les petites espèces requièrent plus d'énergie par unité de masse corporelle que les grosses (Duncan et al. 1998). Or, les études de terrain montrent que les grands mammifères ont des domaines vitaux plus grands qu'attendu pour couvrir les besoins énergétiques. Ce domaine vital plus grand qu'attendu s'expliquerait en partie par le partage des ressources alimentaires des grands mammifères, sociaux avec leur conspécifiques (Jetz et al. 2004). De plus, d'autres facteurs interviennent tels que le niveau trophique, la latitude et l'altitude. En effet, à masse égale, les carnivores ont un domaine vital plus grand que les herbivores, et les espèces vivant à des latitudes et des altitudes élevées ont des domaines vitaux plus grands qu'attendu.

Figure 13, d'après Buskirk, 2004. La capacité des mammifères à traverser leur domaine vital (polygones) et d'exclure leur conspécifiques dépend de la masse de l'espèce. Les petits mammifères comme la souris parcourent leur domaine vital (lignes rouges) en peu de temps, excluent les conspécifiques, et maintiennent donc un domaine vital exclusif. A l'inverse, les grands mammifères, comme la girafe, ne peuvent maintenir de domaine vital exclusif, ils partagent leur domaine avec les conspécifiques de sorte que, obligés de partager les ressources (domaine vital partagé en orange), la taille du domaine vital est plus grand qu'attendu pour combler les besoins alimentaires.



Nous avons étudié l'utilisation de l'habitat des girafes de l'Afrique de l'Ouest à l'échelle de la population et du troupeau. La girafe est une espèce sélective et avec des besoins en ressource d'alimentation élevés. A l'échelle de la population, nous nous attendons à un ajustement de la distribution saisonnière des girafes en lien avec la saisonnalité de la pluie, qui conditionne la qualité et la quantité des ressources alimentaires. De plus, nous nous attendons à une taille de domaine vital à l'échelle de la population plus importante en saison sèche, les girafes devant parcourir de plus grandes distance pour couvrir leurs besoins alimentaires pendant cette saison (saison pauvre). Comme semble l'indiquer le recensement 2009, où une partie des girafes ont quitté le cœur de la zone girafes, nous nous attendons à une progressive saturation de l'habitat qui se traduirait par des migrations croissantes en dehors du cœur de la zone girafes. D'autre part, compte tenu du système social très flexible des girafes, nous avons souhaité comprendre comment les girafes, en l'absence de prédation adaptent la taille des troupes aux variables environnementales, en particulier la ressource alimentaire. Cette analyse a donné lieu à un article aujourd'hui en préparation.

B. Factors driving multiscale habitat use and home range size in the endangered West Africa giraffe (*Giraffa camelopardalis peralta*). Article en préparation

Factors driving multiscale habitat use and home range size in the endangered

West Africa giraffe (*Giraffa camelopardalis peralta*)

J.-P. Suraud¹, E. Richard², V. Tolon², A. M. Issa³, H. Fritz¹, J.-M. Gaillard¹

¹Laboratoire de Biométrie et Biologie Evolutive (UMR5558), CNRS, Université Lyon 1, 43 bd 11 nov, F-69622 Villeurbanne Cedex, France. e-mail : Jean-Patrick Suraud girafesduniger@gmail.com ; Jean-Michel Gaillard : jean-michel.gaillard@univ-lyon1.fr ; Hervé Fritz : herve.fritz@univ-lyon1.fr; Vincent Tolon : vincent.tolon@gmail.com

²Emmanuelle Richard, ONCFS, Centre National d'Etudes et de Recherches Appliquées sur les Cervidés- Sanglier. 85bis avenue de Wagram. 75017 Paris: manuer@wanadoo.fr

³Abdou Malam Issa, Direction de la Faune, de la Chasse et des Aires Protégées, Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre la Désertification, République du Niger – e-mail: malam_ia@yahoo.fr

Abstract

In a context of ongoing declines of mammal species, understanding relationships between organisms and their habitat is crucial and helps to develop wildlife management and conservation strategies. Factors influencing animal distribution at the individual scale can be ranked among three main categories: individual constraint, interaction with other animals, (e.g. predation and intraspecific competition) and environmental factors including habitat features.

We studied habitat use of the endangered West African giraffe (*Giraffa camelopardalis peralta*), which today is restricted to one area of Niger. It is a unique case of a giraffe predator-free population, sharing habitat with a dense human population. Giraffe population is increasing in parallel of quick habitat destruction due to human activities (e.g. agriculture). In this particular context of limiting conditions in terms of food resources we expect a progressive saturation of giraffe core range, and population distribution should be mostly driven by forage availability and quality. In this predator-free environment, with food availability seasonally distributed, we expected herd size to be mainly driven by food quantity and quality leading to larger herds when food is abundant. To test these hypotheses, observations were conducted from 2007 to 2010 during the rainy season, and in 2008 and 2009 during the dry season. Giraffe appeared to use two separated and constant seasonal home ranges. The spatial distribution and herd size of the West African giraffe is closely linked to the availability and phenology of food resources. The average herd size during the rainy season was larger than during the dry season (poor season) . Contrary to what is expected on ungulates population, during the rainy season, the herd size increased with tiger bush density, especially when herd did not contained juveniles. In particular the largest herds of giraffe were observed during the rainy season in areas with high tiger bush density. Spatial expansion of giraffe and the emergence of a new sub-population were observed in recent years. This result and the increasing of giraffe migration outside the core range are consistent with a progressive saturation of the core range. When seeking for new areas, giraffes are likely to be more vulnerable to poaching. Human-giraffe conflicts mitigation and habitat protection is now becoming the key drivers behind the future success of protecting giraffe in Niger.

Introduction

Understanding why some species are at high risk of extinction, while others remain relatively safe is a central question in conservation biology (Cardillo et al. 2004). The underlying cause of recent and ongoing declines of mammal species involves the growth of human populations and its associated impacts, including for instance harvesting, disturbance, biotic, habitat loss, and fragmentation (Barnosky et al. 2011). In this context, understanding relationships between organisms and their habitat is crucial and helps to develop wildlife management and conservation strategies (Morrisson et al. 2006). Measuring population home range (e.g. size, location, and spatial structure) is necessary to understand spatial requirements of the focal species and then to rank reliably species following the IUCN Red List Categories and Criteria (i.e. Vulnerable, Critically Endangered)

Population distribution patterns result from individual behavioral processes. Factors influencing animal distribution at the individual scale (Johnson, 1980) can be ranked among three main categories: (i) individual constraint (e.g. reproductive status, mating behavior); (ii) interaction with other animals, (e.g. predation (Brown, 1992) interspecific and intraspecific competition (Morris, 1988)); and (iii) environmental factors including habitat features and stochasticity (Corsi et al. 2000). The hierarchy of factors influencing habitat selection could be driven by the order of the factors limiting individual fitness (Rettie & Messier, 2000) especially for migrant species (Hebblewhite & Merrill, 2007). In the absence of predators and/or specific diseases, the use of habitat by animals may therefore be predominantly driven at larger scale by resource abundance, as expected by the Optimal Foraging Theory (Stephens & Krebs, 1986). In this context, individuals select food patches that maximize their net energy intake, in relation to patch quality (MacArthur, & Pianka, 1966), food competition in the patch (e.g. Ideal Free Distribution, Fretwell & Lucas 1969) and foraging costs (e.g. Marginal Value Theorem, Charnov, 1976). This results at the population scale in a resource-matching pattern. Changes in resource quality, abundance and distribution may therefore drive change in distribution of individuals at the population scale, which could notably shift their home range (annually or seasonally) in response to spatiotemporal variations in resources (Secor et al. 1995).

We studied habitat use of the endangered West African giraffe (*Giraffa camelopardalis peralta*), which today is restricted to one area of Niger. It is a unique case of a giraffe predator-free

population where almost all (around 95%) individuals of the population were identified. Since this period, as this giraffe population was nearly extinct, conservation efforts were undertaken and led to a rapid recovery. The annual population growth rate reached 12%, corresponding to the highest increase ever reported for a giraffe population (Suraud et al. in press). This spectacular recovery after a severe period of illegal hunting was mostly due to the end of poaching and the absence of predators. However, the population remains vulnerable to habitat destruction. In particular the destruction of the tiger bush widely used by giraffes in this population increased over the last 10 last years due to the extremely high wood demand of people in Niamey, the Niger's capital (Abdou, 2005; Morou, 2010). The tiger bush covered 56.6% of the area in 1950, but only 20.9% in 1995. Between 1975 and 2002, Abdou (2005) found a similar intensity for the destruction of the tiger bush and reported a marked increase of field crops. Thus, we can hypothesize the spread of population distribution in response of giraffe's habitat destruction occurring in parallel of an increasing giraffe number. We aim to identify the factors influencing the spatial distribution of giraffe at both population and herd levels according to seasonal and yearly variations.

In this particular context of limiting conditions in terms of food resources in a predator-free population we expected that (i) the home range location of the giraffe at the population scale should be mostly driven by forage availability and quality (seasonally distributed due to rainy season and dry season), leading to distinct spatial home range depending on the seasons considered; (ii) giraffe should show larger population home range size during the dry season because of larger movements in search of enough food to complete energy requirements within a poor and low quality environment. Additionally, with a high increase in the giraffe population occurring in parallel of intense habitat destruction, we expected (iii) a progressive saturation of giraffe core range leading to an increase of large migrations outside the core range in search of new suitable habitat.

Giraffe live in an extremely flexible social system, and breeding is non-seasonal. They are characterized by a herd size and structure distinguished by extreme flexibility (fusion-fission), but mechanisms mediating modifications in herd size are unknown. Thus, the giraffe is an ideal species for examining how ecological variables contribute to fluctuations in herd size (Bercovitch & Berry, 2010). There is limited standardisation regarding descriptions of giraffe herd structures, with the concepts of a giraffe herd or group being continually re-defined (e.g. Backhaus, 1961;

Foster, 1966; Foster & Dagg, 1972, Fennessy, 2004). Backhaus' definition of a herd is "any number of the same species that moves together and engages in the same activity, at any one time", has been the baseline for our giraffe herd structure analysis. At the herd scale we tested the influence of seasons and of vegetation density on herd size. Sociality evolved as a compromise between cooperation and competition (e.g. Wrangham & Rubenstein, 1986). In general, among ungulate species, individuals tend to aggregate in big herds in open environments to avoid predation, but disperse in thicket and dense areas (Jarman, 1974). In this predator-free environment, with food availability seasonally distributed, we expected herd size to be mainly driven by food quantity and quality leading to (iv) larger herds during the rainy season compared to dry season, and throughout the rainy season (v) larger and (vi) possibly more frequent herds in habitat with high food abundance

Methods

Study site

The climate of the study area is Soudano-Sahelian with rainy season is from June to October, and the dry season is from November to May, and an average annual rainfall between 400 and 500mm. The average temperatures are high with a minimum in January (16°C) and a maximum in April-May (up to 42°). In all these areas there are numerous cultivated fields crop (e.g., millet, sorghum, and beans), whilst the vegetation is partially degraded due to human activities.

The Koure Plateau, the North Dallol Bosso, and the Intermediate Zone, are the three major areas of the giraffe's core range. The Koure Plateau has a lateritic soil with vegetation composed by cultivated crops and tiger bush. The woody flora is relatively poor and largely dominated by Combretaceae (e.g. *Guiera senegalensis*), *Combretum* mixed with Mimosaceae and Capparidaceae (e.g. *Acacia ataxacantha*, *Acacia macrostachya*) (Saadou, 1996). The tiger bush is well adapted to Sahel climate, and provides an important source of food for herbivores, with an average leaf mass production of 2,000 kg.ha⁻¹ (Hiernaux & Gérard, 1999). Surface water in the plateau includes a large number of temporary ponds during the rainy season. The North Dallol Bosso is an ancient river valley that carries surface water in the rainy season but maintains subsurface water at all other times, making it a magnet for human habitation (Decalo, 1979). North Dallol Bosso vegetation is dominated by trees species (*Combretum glutinosum*, *Faidherbia albida*, *Balanites aegyptiaca*) and shrubs (*Guiera senegalensis*). It is a sandy region with

permanent water in numerous hollows with a relatively fertile soil. The Intermediate Zone has highly degraded soils that are disappearing due to deforestation (Ambouta, 1984). Vegetation is essentially composed by the same tree species and shrub as in the North Dallol Bosso, but with lower density due to lower soil fertility.

Species description

West African giraffe are a genetically unique population represented only by the subspecies *Giraffa camelopardalis peralta*, and listed as ‘endangered’ since 2008 following IUCN Red List criteria (Fennessy & Brown, 2008). The number and home range of West African giraffe declined during the 20th century to the point of almost extinction. In 1996, the last 50 individuals were concentrated close to Niamey, the capital of Niger (Ciofolo, 1998; Le Pendu & Ciofolo, 1999). The Government of Niger undertook concerted efforts to enforce the long-term legislation preventing further poaching of giraffe. Since then, the giraffe population has grown markedly (Suraud et al. in press). Subsequently, cohabitation with people enabled giraffe to be individually monitored at close range with minimal flight response, and thus provided ideal conditions to analyze population home range of this poorly studied megaherbivore (sensu Owen-Smith, 1988). Despite a large variety of plants in their diet (between 30 (Morou, 2010) and 45 (Ciofolo, 1998)), the West African giraffe forage mainly on four species: *Acacia ataxacantha* and *Acacia macrostachya* during the rainy season and *Faidherbia albida* (formerly designed as *Acacia albida*) and *Combretum glutinosum* during the dry season.

Data collection

Observations were conducted from 2007 to 2010 during the rainy season, and in 2008 and 2009 during the dry season. The giraffe core range was surveyed during 56 field trips in total from three to eight consecutive days. Additional surveys (14 in total) were conducted outside the core range, in particular, the Fandou area, 80km to the North of core range. Outside the core range, surveys occurred only when the field team was warned of the presence of giraffe. A total of 2,757 giraffe locations were collected. As the annual giraffe census occurred during the rainy season, more data were collected during this period. In addition to location, herd size and composition data (based on individual identification) were collected.

Data analysis in the core range

1 At the population level

At the population level we analyzed yearly and seasonal home ranges of giraffes from 2007 to 2010 and determined the timing of migration within the core range. Then, we compared large migrations, outside the core range during 1996-1998 and during our study period. To check whether the population home range sizes were the largest during the dry (poor) season, seasonal home ranges of the population were estimated by kernel methods. Previous work has demonstrated that Kernel methods usually provide more accurate home range size estimates than MCP models (Laver & Kelly, 2008). The smoothing parameter h was fixed at the mean h -ref values of seasonal population home range (Pellerin et al. 2008), in order to compare seasonal home range. Thus, an average smoothing parameter h of 2,100m was calculated. To assess the seasonal home range size of giraffe, we estimated the 95% and 50% fixed kernel estimator, which is the common criterion to identify core areas. We assessed population home range overlap for the rainy seasons from 2007 to 2010 and dry seasons in 2008 and 2009. As suggested by Fieberg & Kochanny (2005), we used a generalization of the Utilization Distribution Overlap Index (UDOI) to quantify the overlap. This method had the advantage to compute an overlap index based on utilization distributions (not only surfaces), with the null hypothesis of uniform distribution for both seasons. Season-specific UDOI were calculated to measure the range overlap between years during the same season and between rainy and dry seasons in a given year. The UDOI equals 0 for 2 distributions that do not overlap, equals 1 when both Utilisation Distributions are uniformly distributed and were >1 when both UD's are non-uniformly distributed and have a high overlap.

In the giraffe core range three principal range areas occurred: the Koure Plateau, the North Dallol Bosso and the Intermediate Zone. To test for season-specific habitat use by giraffes at the population level, we pooled data localized in the North Dallol Bosso and Intermediate Zone because in these two areas, habitats are similar in plant composition. Therefore, we explored the proportion of giraffe locations in the Koure Plateau (dominated by the tiger bush, with cultivated fields) and in the North Dallol Bosso/Intermediate Zone (dominated by acacias, with numerous cultivated fields) according to the daily rainfall that should determine any switch between the areas. Analyses were performed with the package Adehabitat (Calenge. 2006) designed for the R 2.13 software (R Development Core Team, 2011).

2. At the herd level

We used generalised linear models with Poisson error to analyse variations of herd size with a model selection procedure. Because mother and yearlings stay in the same herds, the presence of yearlings mechanically increase herd size. Consequently, we considered a variable “presence of juveniles” (a two-level factor) and the effect of season (a two-level factor: dry season vs rainy season) on herd size in the model selection. The best model was selected from 5 *a priori* models based on the Akaike Information Criterion (AIC), the difference of AIC with the best models (Δ_i) and the Akaike weight (w_i) (Burnham & Anderson, 2002). During the rainy season giraffe are mainly located in the Koure Plateau (see Figure 14), and they mostly feed on tiger bush trees and shrub species (Ciofolo, 1998; Morou, 2010). Therefore, we performed a second model selection to analyse herd size variations during the rainy season with the same variable “presence of juveniles” and the tiger bush density (a four-level ordinal variable: 0 is no tiger bush, 1 is low tiger bush density, 2 is medium tiger bush density, 3 is high tiger bush density), with the expectation of larger herds in the denser tiger bush habitat because food is also more abundant (prediction (v)).

Results

The population home range size was smaller during rainy season with on average 398 km² (s.d. = 26 km²) with the 95% Kernel UD between 2007 and 2009, and 81 km² (s.d. = 5.14 km²) using the 50% Kernel UD. During the dry season the population home range was on average 507 km² (s.d. = 14 km²) using the 95% Kernel UD, and 122 km² (s.d. = 4.98 km²) using the 50% Kernel UD. A high spatial overlap (between 0.67 and 0.99) occurred for a given season from year to year during the 2007-2009 period. On the other hand, the spatial overlap between the rainy and the dry seasons was low (between 0.02 and 0.30) in any year (see Tableau 5). A total of 91% of the giraffe locations were recorded in the Koure Plateau during the rainy season, while 85% were recorded in the North Dallol Bosso/Intermediate zone during the dry season. Such a marked contrast indicates that most giraffe migrated from North Dallol Bosso/Intermediate zone to Koure plateau every year at the onset of the first rains (see Figure 14).

The most parcimonious model predicting herd size along the year included the additive effect of the presence/absence of juveniles and the saison (First model in Tableau 7). The maximum herd

size was, for instance, 28 and 16 during the rainy and the dry seasons respectively (see Figure 15). The model selection procedure performed only during the rainy season, show an interaction between the bush density and the presence/absence of juveniles (First model in Tableau 8). Indeed the presence of juveniles and the bush density influenced positively the herd size but the habitat effect was stronger for herd without juveniles (Figure 17).

The proportion of observed herds increased with the tiger bush density from no tiger bush to medium dense tiger bush, but the proportion of herds detected was low in the dense tiger bush (see Figure 16).

Discussion

Giraffe home range at the population level

We reported a marked home range overlap between years for any given season, but a low spatial overlap between rainy and dry seasons. Therefore, we clearly found that giraffe have two separated and constant home ranges that they use seasonally. Habitat use at the population level showed that almost all giraffe were located in the Koure Plateau (91%) during the rainy season, whereas almost all giraffe were located in the North Dallol Bosso/ Intermediate Zone (85%) during the dry season. A transition period was identified at the end of the dry season (from the second half of April to the end of May) when giraffe commuted from the North Dallol Bosso/ Intermediate zone to the Koure Plateau. The giraffe appeared to commute back at the end of the rainy season from the Koure Plateau to the North Dallol Bosso/ Intermediate zone. However the low number of data recorded during this short period did not allow us to clearly identify the timing in relation to rain or other factors. Despite temporal variation in rainy seasons from 2007 to 2010, we found a transition from North Dallol Bosso/ Intermediate Zone that consistently occurred just before the first rains, and all giraffes finished their migration from North Dallol Bosse/Intermediate zone to Kouré plateau at the onset of first rains. Le Pendu & Ciofolo (1999) observed the same kind of migration, but according to their study, the first giraffe movements to the Koure Plateau occurred the day after the rains, hence later than what we observed. Based on our observations, we hypothesize that the departure of giraffe coincides with the leaf flush of tiger bush, which peaks just before rain begins. *Faidherbia albida* is in leaf during the dry season and defoliated during the rainy season, displaying a reverse phenology (Ambouta, 1984; Saadou, 1990). Interestingly, *Faidherbia albida* is abundant in the North Dallol Bosso/Intermediate zone

and is one of the most frequently eaten trees by giraffe during the dry season (Morou, 2010). The preference for *Faidherbia albida* by giraffe might be related to the high proportion of proteins and water in the leaves of that tree, (Hall-Martin & Basson, 1975) and its low content of tannin (Caister, 2003). In May, *Faidherbia albida* loses its leaves and the old leaves of *Combretum glutinosum* are full of tannins (Sauer, 1983; Lependu & Ciofolo, 1999). Thus, chemical composition of plants appears to be an important aspect of habitat selection by giraffe, particularly as it may affect the palatability, nutrient quality and/or digestibility of the forage (Fennessy, 2004).

Seasonal migration is a common life-history tactic exhibited by large herbivores species in virtually every biome, ranging from mountain forests (Hebblewhite, 2007) to tropical savannah (Loarie et al. 2009). The abundance and spatial distribution of forage usually influence the ability of herbivores to forage efficiently (Forage Maturation Hypothesis, Fryxell, 1991), and thereby shape home range size and location at the both the individual and the population scales. Our results suggest that spatial distribution of giraffe seems to be driven at large scale (i.e.. population scale) by resource distribution, with giraffe moving according to the phenology of their main food resources in both the Koure Plateau during the rainy season and in the North Dallol Bosso / Intermediate Zone during the dry season. From 2007 to 2009, the population home range sizes were larger during the dry season than during the rainy season. This supports the negative relationship between food abundance and home range size often reported in large herbivores at the individual level (see e.g. McNab 1963). Many studies have shown that animals avoid areas where humans are present (Sutherland & Crockford, 1993). In the North Dallol Bosso, human density is especially high due to both the high availability of water year-round and the relatively good quality of soils for agriculture. Although not measured, we propose that human disturbance was highest in the North Dallol Bosso area and resulted in giraffe avoiding villages and their surrounding areas. Human disturbance can also lead to an increase of giraffe home range size during the dry season.

We cannot rely on data collected during the rainy season 2010 for comparison with 2009 because field surveys in 2010 were considerably shorter than in 2009. During the rainy season we performed annual censuses from 2005 to 2009. Annual censuses based on photo-identification aimed at being quasi-exhaustive for this small size population between 2005 and 2008 (with a yearly resighting rate as high as 0.97, Suraud et al. in press), so that we had an accurate estimate

of the spatial distribution of the population. However, in 2009, 38 giraffe were not observed and the resighting probability decreased markedly (0.84). The 2010 giraffe survey observed 30 out of the 38 giraffe not seen during the 2009 census. Thus, the population home range size was likely underestimated in 2009 during the rainy season. Interestingly, giraffe not seen in 2009 included giraffes of all age and sex classes, suggesting that some entire herds moved away. This result is consistent with a probable saturation of the core range.

Outside the core range

During the study a new sub-population was observed in the Fandou area. Previously individuals had been observed there during dry seasons in the early 1990s, and subsequently regular migrations (for some weeks or months) were reported at the end of the 1990s (Le Pendu & Ciofolo, 1999). We observed giraffe in this newly colonized area during the 2007- 2009 rainy season, and where vegetation is dominated by *Faidherbia albida* similar to that in the North Dallol Bosso area during dry season. The giraffe seasonal distribution is thus similar in the core range and in this newly colonized area: with giraffe occurring in the plateau dominated by tiger bush during the rainy season, and move to sandy places dominated by *Faidherbia albida* during the dry season. About 20 individually recognizable giraffe were observed regularly in this newly colonized area, with some individuals migrating back and forth, maintaining a link between the two sub-populations. Le Pendu & Ciofolo (1999) also reported a number of long distance movements including individuals going to Mali and to Gaya (Nigeria border). During our study two giraffe crossed the border into Nigeria close to Gaya, and were immediately poached. The Mali migration route does not exist anymore, and giraffe going to Mali were all killed. Nevertheless, we saw giraffes in the North of Ouallam at around 70km from the Mali border (approximately 150km, North from the core range). In 2007, two giraffes were observed in Tillabery (around 180km North West from the giraffe core range) where no giraffe had been seen during the last 20 years. With increasing giraffe migrations (and forays) outside the core range, and the settlement of a sub population in Fandou, we suspect a progressive saturation of the giraffe core range.

Giraffe herd size according to season and resource density

In this particular context of a social species not faced with predation, we hypothesized the herd size was mostly driven by both the availability and the quality of food resources, which vary seasonally. Moreover, giraffe herd size might reflect a reproductive state if cows with calves form temporary bonds (Estes, 1995; Kingdon, 1997). Both effects of seasons and presence/absence of yearling were detected in herd size variations. The average herd size during the rainy season was larger than during the dry season (see Figure 15). During the rainy season, the herd size increased with tiger bush density, especially when herd did not contained juveniles (Figure 17). In particular the largest herds of giraffe were observed during the rainy season in areas with high tiger bush density. Our results therefore supported the hypothesis that herd size variation was mostly driven by food availability and quality. Maximum herd size depends on detailed characteristics of individual behavior or ecological conditions (e.g. food availability, predation). In Zambia, giraffe herd size was larger during the wet than during the dry season (5.6 ± 4.0 during rainy season, vs 5.0 ± 3.4 during dry season, $p = 0.029$, Bercovitch & Berry, 2010). These authors suggested that during the dry season, the reduction in herd size might involve a foraging tactic that reduces intra-group competition for food. However, Fennessy (2004) observed that the average giraffe herd size increased during the dry season in the Namib desert. In this extreme environment, food and water are very scarce during dry season, and giraffe aggregated in the limited available food patches. Again in contrast, Dagg & Foster (1976) reported a constant herd size independent of the season. This observation can be explained by the limited contrast between the rainy and the dry season in Kenya where these studies took place. Therefore, resource distribution appears to be an important driver of herd size leading to contracted effect dependent on local spatiotemporal structures of the environment. The lower effect of the bush density on size of herd including juvenile (Figure 17) did not however supported this food hypothesis as these groups were expected to be particularly dependent on resource. This could therefore suggest a residual risk perception in giraffes that could lead to slightly higher herd sizes than expected by food in open habitat especially when juveniles are present.

As expected during the rainy season, the habitat used by giraffe herds appears to be driven by food availability with the proportion of them increasing from areas with no tiger bush to areas with medium density of tiger bush. Surprisingly, a shift in this relationship occurred and a lower proportion of herds were observed at the highest density of tiger bush (Figure 16). Several

hypotheses might account for this pattern. First, detection probability generally is lower in dense habitats so that the proportion of herds in areas with high density of tiger bush could be underestimated during our terrestrial survey. The sampling effort was kept constant in all habitat types when measured as observation time per area, but we did not control for between-habitat differences in visibility. A second hypothesis might be that giraffe are not well adapted to move in too dense habitat, and avoid areas with high density of tiger bush despite a potentially high quantity of food available there. The low proportion of giraffe observed in the dense tiger bush could also result from a recent shift in giraffe habitat use. Against expectations, densest habitats might be originally a sub-optimal habitat avoided by giraffe that could have become a new suitable habitat in recent years. This hypothesis is consistent with the two aerial surveys performed in the study site where 8% of the giraffe were observed in the dense tiger bush in 2003 (Boulet et al. 2004), whereas 15% were detected there during our survey occurring between 2007 and 2010. We assume that the proportion of giraffe found in the dense tiger bush was underestimated due to visibility difficulties, and its relative importance seems to be increasing.

Conservation / perspectives

The spatial distribution and herd size of the West African giraffe is closely linked to the availability and phenology of food resources. With the ongoing destruction of the tiger bush, we expect the dense tiger bush habitat to be increasingly selected by giraffe in the near future, and at least until this habitat will be totally removed or fragmented. The spatial expansion of giraffe and the emergence of a new sub-population was observed in recent years and are consistent with a saturation of the core range of the giraffe, likely caused by the combination of a marked increase of population size (Suraud et al. in press), destruction of the main habitat (Hiernaux & Gérard, 1999; Abdou, 2005), and of increasing human-giraffe conflicts (Leroy et al., 2009). The low human population density in the colonized Fandou area should correspond to a low human disturbance, and as such this might result in a current high quality habitat for giraffe. In both sub-populations (core range and colonized area) giraffe are seasonally distributed and seem to require two complementary habitats *Faidherbia albida* dominated during the dry season and the tiger bush during the rainy season. This pattern has important implications in a conservation perspective. In case of translocations of individuals to a more favorable habitat (ie. with less

human disturbance) stakeholders will have to take into account such habitat requirements of giraffe.

We expect increasing movements and migrations by giraffe to lead the former spatially homogeneous population to split into several sub-populations. When seeking for new areas, giraffes are likely to be more vulnerable to poaching, especially in Mali or Nigeria. Moreover, despite a very rapid increase of the population, the number of West African giraffe remains quite low and still far below the number required for escaping the endangered status according to the IUCN criteria. Since the end of poaching at the end of the 1990s, habitat protection is now becoming the key driver behind the future success of protecting giraffe in Niger.

Reference

- Abdou, N., Niger. 2005. Etude prospective des sites de formations contractées dans certaines zones de l'Ouest nigérien (Fandou et Tombo) dans la perspective de la décongestion de la zone de Kouré habitat actuel des Girafes. Msc thesis:Ecology. University Abdou Moumouni, Niamey .
- Ambouta, K. J. M. 1984. Contribution à l'édaphologie de la brousse tigrée de l'Ouest nigérien. Page p. 116. PhD thesis Ecology. Nancy I.
- Backhaus, D. 1961. Beobachtungen an Giraffen in Zoologischen Garten und freier Wildbahn. Institi. Des Parcs Nat. du Congo et du Ruanda-Urundi, Bruxelles.
- Barnosky, A. D., N. Matzke, S. Tomiya, G. O. U. Wogan, B. Swartz, T. B. Quental, C. Marshall, J. L. McGuire, E. L. Lindsey, K. C. Maguire, B. Mersey, and E. A. Ferrer. 2011. Has the Earth's sixth mass extinction already arrived? *Nature* 471:51-57.
- Bercovitch, F. B., and P. S. M. Berry. 2010. Ecological determinants of herd size in the Thornicroft's giraffe of Zambia. *African Journal of Ecology* 48:962-971.
- Boulet, H., E. H. I. Niandou, M. Alou, D. Dulieu, and B. Chardonnet. 2004. Giraffes (*Giraffa camelopardalis peralta*) of Niger. Antelope Survey Update 9. IUCN/SSC Antelope Specialist Group Report.
- Brown, J. S. 1992. Patch use under predation risk: 1. Models and predictions. *Annales Zoologici Fennici* 29:301-309.
- Burnham, K. P., and D. R. Anderson. 2002. Model selection and multimodel inference. A practical information-theoretic approach. Springer-Verlag New York, New York.
- Caister, L. E., M. William, and A. Gosser. 2003. Female tannin avoidance: a possible explanation for habitat and dietary segregation of giraffes (*Giraffa camelopardalis peralta*) in Niger. *African Journal of Ecology* 41:201-210.
- Calenge, C. 2006. The package "adehabitat" for the R software: A tool for the analysis of space and habitat use by animals. *Ecological Modelling* 197:516-519.
- Cardillo, M., A. Purvis, W. Sechrest, J. L. Gittleman, J. Bielby, and G. M. Mace. 2004. Human population density and extinction risk in the world's carnivores. *Plos Biology* 2:909-914.
- Charnov, E. L. 1976. Optimal foraging, marginal value theorem. *Theoretical Population Biology* 9:129-136.
- Ciofolo, I. 1998. Rapport final de mission du Projet d'Utilisation des Ressources Naturelles de Kouré et du Dallol Bosso Nord. PURNKO, Niamey.

Corsi, F., A. Skidmore, and J. de Leeuw 2000. Modelling species distribution with GIS, New York.

Dagg, A. I., and J. B. Foster 1976. The Giraffe: its biology, behaviour and ecology. Krieger Publishing Co, Malabar.

Decalo, S. 1979. Historical Dictionary of Niger. Scarecrow Press. Metuchen. NJ London.

Estes, R. D. 1995. The Behaviour Guide to African Mammals - Including Hoofed Mammals, Carnivores, Primates. Halfway House, South Africa.

Fennessy, J. T. 2004. Ecology of desert-dwelling giraffe *Giraffa camelopardalis angolensis* in northwestern Namibia. Ecology. University of Sydney, Sydney.

Fennessy, J., and D. Brown. 2008. *Giraffa camelopardalis* ssp. *peralta*. In: IUCN 2011. UCN Red List of Threatened Species.

Ferguson, S. H., and P. C. Elkie. 2004. Seasonal movement patterns of woodland caribou (*Rangifer tarandus caribou*). Journal of Zoology 262:125-134.

Fieberg, J., and C. O. Kochanny. 2005. Quantifying home-range overlap: The importance of the utilization distribution. Journal of Wildlife Management 69:1346-1359.

Foster, J. B. 1966. The giraffe of Nairobi National Park: Home range, sex ratios, the herd and food. East African Wildlife Journal 4: 139-148.

Foster, J. B., and I. A. Dagg. 1972. Notes on the biology of the giraffe. East African Wildlife Journal 10: 11-16.

Fretwell, S. D., and H. L. Lucas. 1969. On territorial behaviour and other factor influencing habitat distribution in birds. Acta Biotheoretica 19:16-36.

Fryxell, J. M. 1991. forage quality and aggregation by large herbivores. American Naturalist 138:478-498.

Hall-Martin, A. J., and W. D. Basson. 1975. Seasonal chemical composition of the diet of Transvaal lowveld giraffe. Journal of South African Wildlife Management 5(1): 19-21.

Hebblewhite, M., and E. H. Merrill. 2007. Multiscale wolf predation risk for elk: does migration reduce risk? Oecologia 152:377-387.

Hiernaux, P., and B. Gerard. 1999. The influence of vegetation pattern on the productivity, diversity and stability of vegetation: The case of 'brousse tigrée' in the Sahel. Acta Oecologica-International Journal of Ecology 20:147-158.

- Jarman, P. J. 1974. The Social Organisation of Antelope in Relation to Their Ecology. *Behaviour* 48:215-258.
- Johnson, D. H. 1980. The Comparison of Usage and Availability Measurements for Evaluating Resource Preference. *Ecology* 61:65-71.
- Kingdon, J. 1997. *The Kingdon Field Guide to African Mammals*, London.
- Laver, P. N., and M. J. Kelly. 2008. A critical review of home range studies. *Journal of Wildlife Management* 72:290-298.
- Le Pendu, Y., and I. Ciofolo. 1999. Seasonal movements of giraffes in Niger. *Journal of Tropical Ecology* 15:341-353.
- Loarie, S. R., R. J. van Aarde, and S. L. Pimm. 2009. Elephant seasonal vegetation preferences across dry and wet savannas. *Biological Conservation* 142:3099-3107.
- Macarthur, R. H., and E. R. Pianka. 1966. On optimal use of patchy environment. *American Naturalist* 100:603-612.
- MCNAB, B. K. 1963. Bioenergetics and the determination of home range size. *American Naturalist* 97: 133-140.
- Morris, D. W. 1988. Habitat-dependent population regulation and community structure. *Evolutionary Ecology* 2:253-269.
- Morrison, M. L., B. G. Marcot, and R. W. Mannan 2006. *Wildlife-Habitat Relationships: Concepts and Applications*. Island Press, London.
- Morou, B. 2010. Impacts de l'occupation des sols sur l'habitat de la girafe au Niger et enjeux pour la sauvegarde du dernier troupeau de girafes de l'Afrique de l'Ouest. Abdou Moumouni, Niamey.
- Owen-Smith, N. 1988. The influence of very large body size on ecology. *Megaherbivores*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Pellerin, M., S. Said, and J. M. Gaillard. 2008. Roe deer *Capreolus capreolus* home-range sizes estimated from VHF and GPS data. *Wildlife Biology* 14:101-110.
- R 2011. Development Core Team R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Rettie, W. J., and F. Messier. 2000. Hierarchical habitat selection by woodland caribou: its relationship to limiting factors. *Ecography* 23:466-478.

Rubenstein, D. I., and R. W. Wrangham 1986. Ecology and Social Evolution: Birds and Mammals, Princeton.

Saadou, M. 1990. La végétation des milieux drainés nigériens à l'Est du Fleuve Niger. Page 395. Abdou Moumouni, Niamey.

Saadou, M. 1996. La végétation du Niger. Pages 51- 66. Environnement du Niger.

Sauer, J. J. C. 1983. Seasonal changes in food selection by giraffes in relation to changes in chemical composition of the leaves selected. South African Journal of Animal Science 13:40-43.

Stephens, D. W., and J. R. Krebs 1986. Foraging theory. Princeton University Press, Princeton.

Suraud, J.P. In press. Higher than expected growth rate in an endangered giraffe population: a successful human-wildlife cohabitation. Oryx.

Sutherland, W. J., and N. J. Crockford. 1993. Factors Affecting the Feeding Distribution of Red-Breasted Geese *Branta-Ruficollis* Wintering in Romania. Biological Conservation 63:61-65.

Wrangham, R. W., and D. I. Rubenstein. 1986. Social evolution in birds and mammals. Pages 452-470 in R. a. R. W. Wrangham, editor. Ecology and Social Evolution: Birds and Mammals. Princeton University Press, Princeton.

Tableau 5 Seasonal giraffe population home range overlap calculated with Utilization Distribution Overlap Index (UDOI)

	Rainy 2008	Rainy 2009	<i>Rainy</i> <i>2010</i>	Dry 2008	Dry 2009
Rainy 2007	0.991	0.711	<i>0.691</i>	0.0283	0.123
Rainy 2008		0.666	<i>0.756</i>	0 .0363	0.15
Rainy 2009			<i>0 .363</i>	0 .141	0 .304
Rainy 2010				0	<i>0 .06</i>
Dry 2008					0 .812

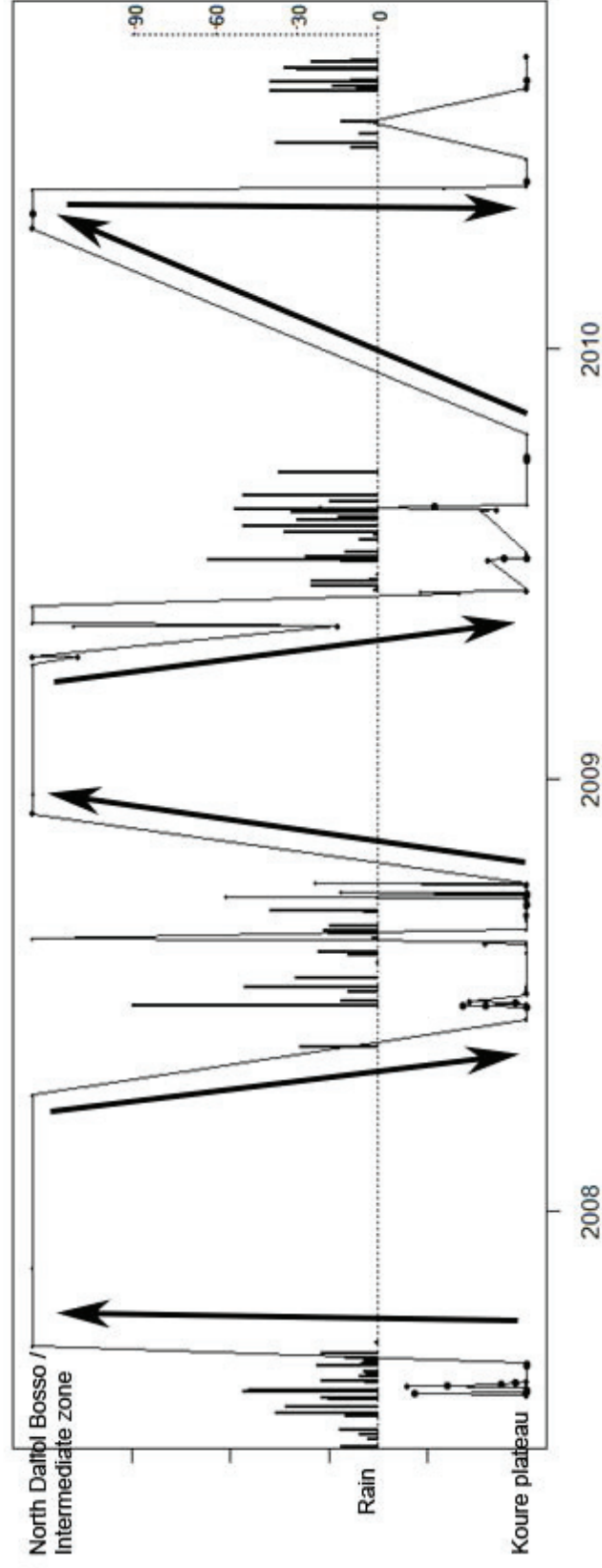


Figure 14 Proportion of giraffe location in the Koure Plateau and in the North Dallol Bosso/Intermediate Zone per decade in relation to rainfall from 2007 to 2010

Tableau 6 Seasonal population home range size in km² calculated with 95% and 50% fix kernel estimator, smoothing parameter = 2100m

	Rainy 2007	Rainy 2008	Rainy 2009	Rainy 2010	Dry 2009	Dry 2008
95%	401	371	423	266	517	497
50%	87	77	79	63	118	125

Tableau 7 Model selection of generalised linear models (Poisson error) predicting giraffe herd size with the presence/absence of juveniles and the saison (dry/rainy). The model selection was performed according to the Akaike Information Criteria (*AIC*). d = number of parameter, Δ_i = difference of *AIC* with the best model, w_i = *AIC* weights relative to all models.

<i>Formula</i>	d	<i>AIC</i>	Δ_{AIC}	w_i
juvenile+season	3	2493.749	0.00	0.687
juvenile*season	4	2495.325	1.58	0.313
juvenile	2	2544.586	50.84	0.000
season	2	2828.528	334.78	0.000
Null	1	3105.341	611.59	0.000

Tableau 8 Model selection of generalised linear models (Poisson error) predicting girafe herd size during the rainy season with the presence/absence of juveniles and the habitat (bush) density (ordinal variable from 0 to 3). The model selection was performed according to the Akaike Information Criteria (*AIC*). d = number of parameter, Δ_i = difference of *AIC* with the best model, w_i = *AIC* weights relative to all models.

<i>Formula</i>	<i>d</i>	<i>AIC</i>	Δ_{AIC}	w_i
juvenile*habitat	4	2025.244	0.00	0.887
juvenile+habitat	3	2029.401	4.16	0.111
juvenile	2	2037.760	12.52	0.002
habitat	2	2289.531	264.29	0.000
Null	1	2290.759	265.51	0.000

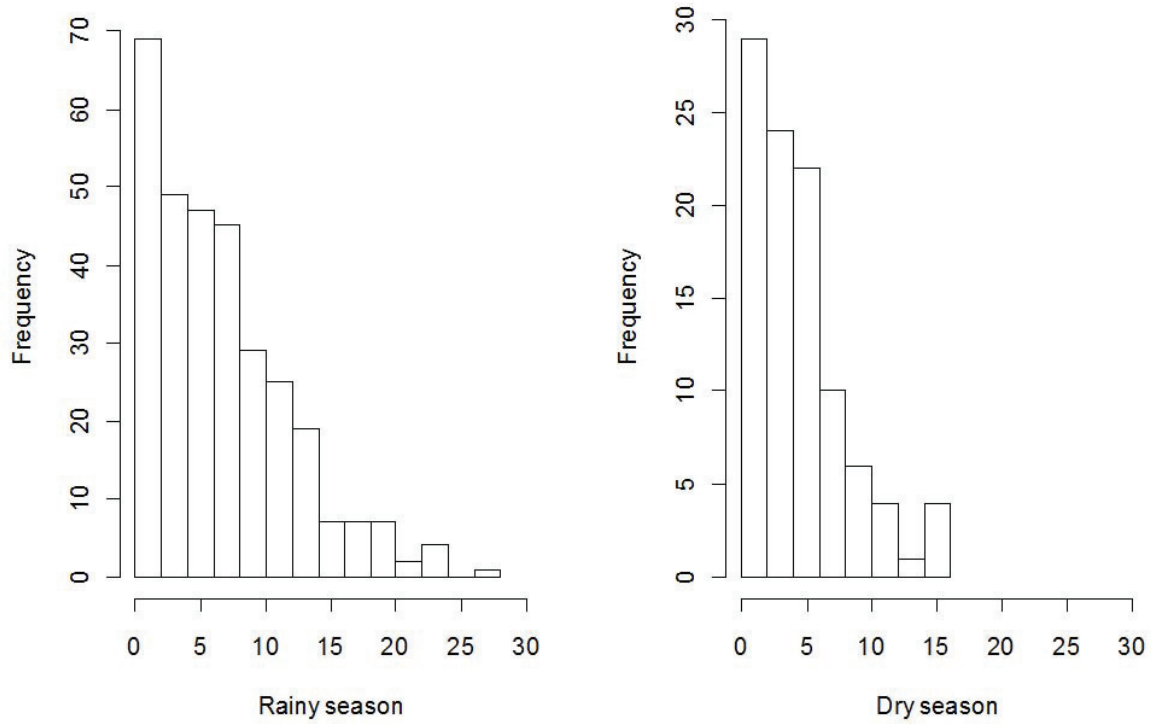


Figure 15 Giraffe herd size frequencies observed in relation to season

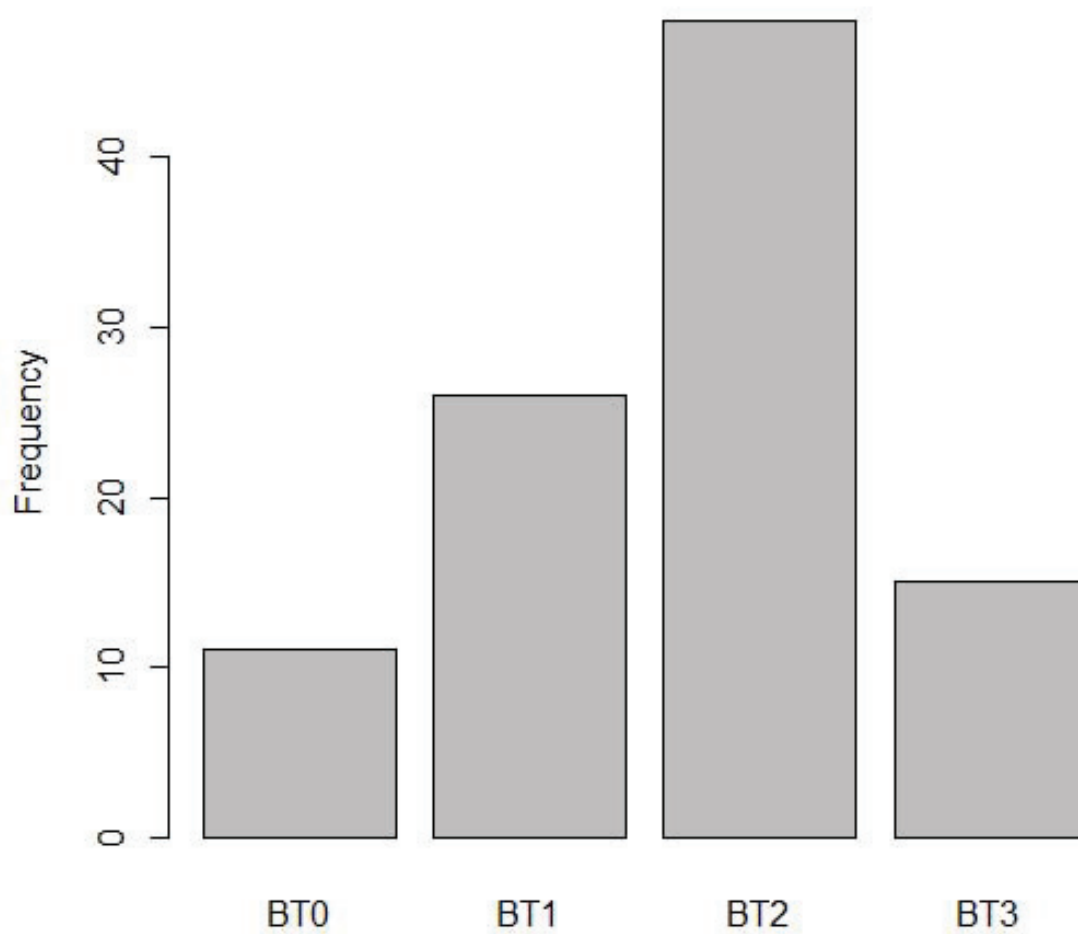


Figure 16 Frequency of herds observed in relation to tiger bush density. BT0 is no tiger bush, BT1 is low tiger bush density, BT2 is medium tiger bush density, and BT3 is high tiger bush density

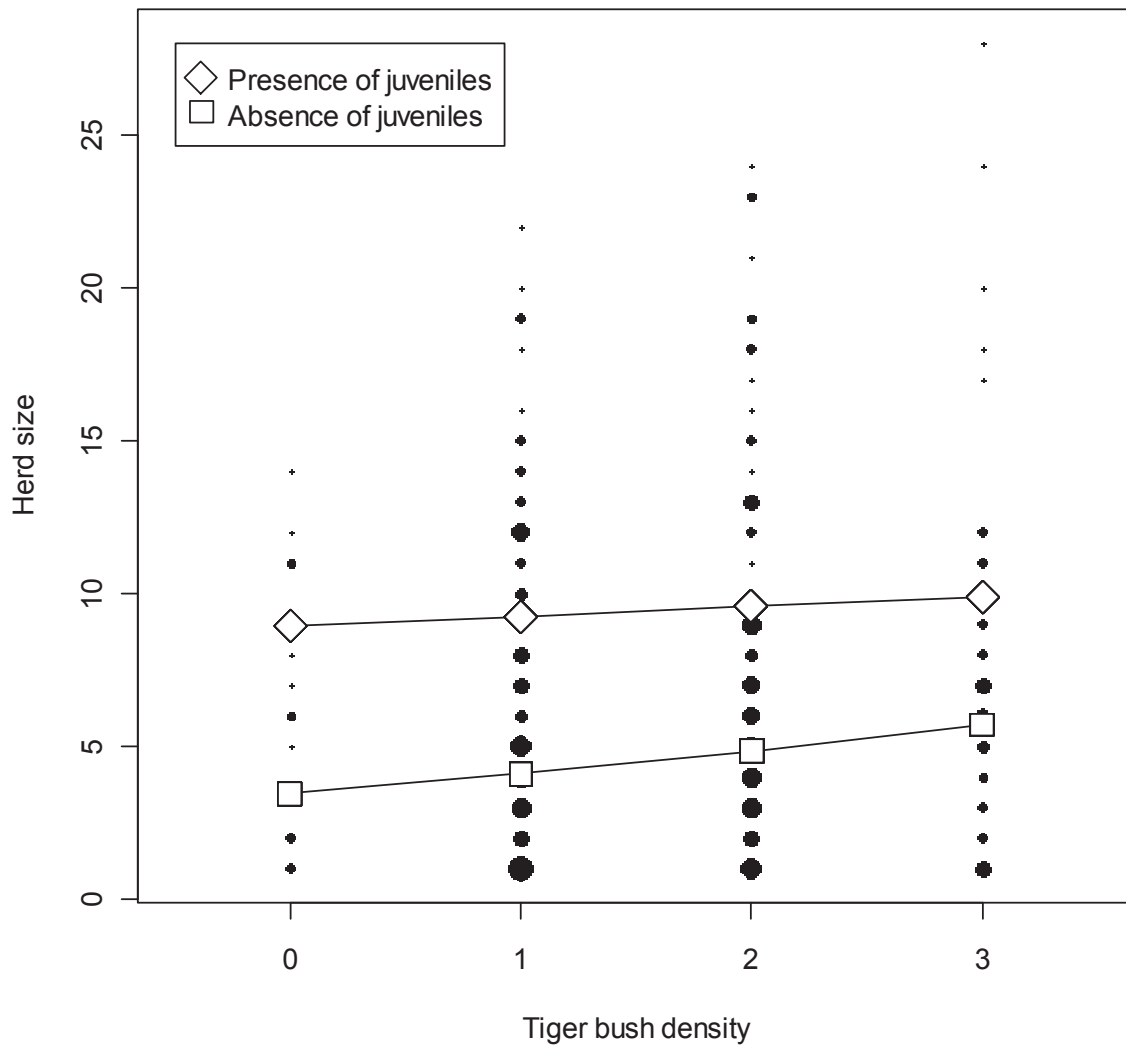


Figure 17 Herd size in relation to tiger bush density (increasing from 1 to 4). Point's size are proportional to the number of herds of a given size in a given habitat. Lozenges represent prediction of the generalized linear model (Poisson error) which test the effect of presence of yearling and tiger bush density on herd size during rainy season. Square represent prediction of the generalized linear model (Poisson error) which test the effect of tiger bush density only on herd size during rainy season.

Conclusions sur la partie

A l'échelle de la population, on observe des migrations saisonnières en lien avec la saisonnalité de la pluie, facteur qui influe sur la quantité et la qualité des ressources. Ce constat se vérifie dans le cœur de la zone, et dans la zone nouvellement colonisée de Fandou.

Les troupeaux sont plus grands pendant la saison des pluies. Pendant cette saison, les troupeaux sont les plus grands dans les habitats les plus denses. Le patron de taille des troupeaux va à l'encontre de ce qui est attendu chez les ongulés où les troupeaux sont les plus grands dans les milieux ouverts en réponse à la prédation. Ici, en l'absence de prédation, la quantité et la qualité des ressources semble être le facteur qui conditionne la taille des troupeaux.

Pour comprendre à l'échelle individuelle comment se traduit cet apparent changement de relation entre les girafes et l'habitat, nous avons équipé 8 femelles adultes allaitantes de colliers émetteurs satellites. Cette opération très délicate a nécessité l'intervention d'experts internationaux, et des acteurs nationaux de la conservation des girafes. L'espèce girafe a des contraintes physiologiques fortes, et nous avons pris toutes les précautions nécessaires réussir l'opération.

C. Mise en place des colliers émetteurs girafes

1. Partenaires

La mise en place des colliers émetteurs girafes a été un travail collectif qui a engagé de nombreux partenaires financiers et techniques. L'opération a été financée par Le Fond Français Pour L'Environnement Mondial, via l'obtention d'un PPI (Programme Petite Initiatives), Giraffe Conservation Foundation, la Fondation IGF, et l'ASGN. Le projet était porté par l'ASGN, sous la tutelle du Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre la Désertification du Niger, par l'intermédiaire de la Direction de la Faune, de la Chasse et des Aires Protégées. Des membres de ces 2 structures, ainsi que des guides girafes de l'AVEN (Association pour la Valorisation de l'Eco-Tourisme au Niger) ont participé aux opérations de capture.

2. Experts internationaux

Afin de minimiser le risque lié à l'anesthésie des girafes, des experts internationaux ont participé aux opérations de capture :

- Le Dr Fennessy, spécialiste mondial des girafes, chairman de l'International Giraffe Working Group- IUCN SSC ASG, et de Giraffe Conservation Foundation.
- Des vétérinaires spécialisés dans la faune sauvage expérimentés dans la capture spécifique des girafes étaient nécessaires au bon déroulement de l'opération. Ainsi, le Dr H.O. Reuter, vétérinaire Namibien était responsable de l'anesthésie des girafes pendant la mise en place des émetteurs. Il dirige une entreprise de capture de grands mammifères.
- Le Dr Philippe Chardonnet, vétérinaire très expérimenté en capture des grands mammifères africains, et Directeur de la Fondation IGF, a lui aussi participé personnellement au projet. Il avait en charge la coordination des équipes anglophones (experts internationaux) et francophones (équipes locales), ainsi que la surveillance des paramètres vitaux des girafes pendant leur immobilisation.
- Andy Tuchttings, Major de la marine Britannique, est lui aussi expérimenté en capture de girafes.

3. Objectifs de conservation et de recherche

Cette étude avait comme objectifs principaux de (i) déterminer les ressources clés des girafes le jour et la nuit, grâce à l'analyse de la sélection de l'habitat et les facteurs qui conditionnent

leur accès, (ii) favoriser et accompagner l'extension du domaine vital des girafes afin d'augmenter les chances de survie de la population, (iii) réduire les conflits hommes – girafes via l'identification des aires nouvellement colonisées par les girafes, et dans un deuxième temps en proposant des mesures de sensibilisation / développement en lien avec la présence des girafes. Ainsi, la finalité de l'étude était d'adapter les actions de conservation des girafes, de sensibilisation, de développement des populations, et de restauration de l'habitat, à ce nouveau contexte d'expansion des girafes,

4. Méthode

Le tracking à l'aide d'émetteurs GPS comme outil de suivi des déplacements des animaux s'est développé rapidement depuis une vingtaine d'année. Les coûts des émetteurs ont largement diminué, et la technique s'est améliorée permettant pour certains systèmes de récolter des données à une fréquence élevée.

Si l'utilisation de ce type d'émetteur est répandue pour l'étude de nombreux grands mammifères africains (e.g. éléphants, lions, buffles), elle ne l'est pas du tout chez la girafe. D'une part, relativement peu d'études se sont focalisées sur l'écologie des girafes, et, de l'avis des spécialistes, la girafe est sans aucun doute l'espèce de grands mammifères la plus délicate à anesthésier (Chardonnet Comm. pers.).

Cette étude est donc particulièrement innovante, et il est important de rappeler que ce n'est que la deuxième fois au monde que des girafes sont équipées d'émetteurs satellites.

Seule une étude en Namibie en 2003 a permis à Julian Fennessy d'étudier le domaine vital et l'utilisation de l'habitat des girafes à l'aide de 4 colliers satellites. La mise en place des colliers avait été un succès. Cependant, du fait d'un problème technique, au bout de quelques semaines/mois les émetteurs ont cessé de fonctionner. D'autre part, les colliers ne fournissaient en Namibie qu'une localisation par jour, ce qui permettait d'étudier à large échelle les déplacements des girafes, comme le domaine vital saisonnier, mais ne permettait pas de mettre en avant des patrons d'utilisation et de sélection différentielle jour/nuit.

a. Choix des émetteurs

La mise en place des émetteurs sur les girafes a donné lieu à de très nombreuses discussions par Email avec plus d'une dizaine de biologistes, vétérinaires de faune sauvage, et fabricants d'émetteurs.

Nous avons dû choisir parmi de nombreux types d'émetteurs existants : VHF, GSM, Satellites.

Le type d'émetteur choisi dépend de la question à laquelle on veut répondre et du budget à disposition. Ici, nous étudions la sélection de l'habitat des girafes, il s'agit d'un plan de type 4. Le système VHF a donc été exclu car ce n'est pas un système automatique d'acquisition de données: il ne renseigne sur la localisation d'un individu que lorsqu'un observateur est à proximité. Les systèmes satellite et GSM ont été présélectionnés car tous les 2 permettent d'obtenir des données à des fréquences importantes, nécessaires pour ce type d'étude. Le système GSM, utilise le réseau de téléphone mobile pour transmettre les données. Il était jusqu'alors bien moins cher que le système satellite. Cependant, si le cœur de la zone girafe bénéficie d'une assez bonne couverture GSM, il n'en va pas toujours de même en dehors de cette zone. Or, nous cherchions à caractériser les déplacements des girafes en dehors de la zone. Ne voulant pas prendre le risque de perdre des données cruciales à cause d'une éventuelle mauvaise couverture mobile, le choix s'est porté sur le système satellite. En plus de l'émetteur GPS, un système VHF a été ajouté. A l'aide d'une antenne radio, le système permettait de localiser la girafe avec une portée d'environ 1km.

Nous avons pris contact avec trois fabricants d'émetteurs satellites grands mammifères: Lotek, Argos, et Africa WildLife tracking. Argos a rapidement été écarté, du fait du coût élevé de ses prestations. Au final, African Wildlife Tracking a été choisi en premier lieu pour son expérience dans la réalisation de colliers émetteurs girafes (c'est le fabricant des colliers utilisés en Namibie), et du fait d'une récente et très importante diminution de coût de l'acquisition des données. Le budget de l'opération permettait d'équiper 8 girafes et de payer l'abonnement satellite pendant 2 ans avec une fréquence d'1 localisation par heure, ce qui était suffisant pour répondre aux questions posées, compte tenu de la taille de la girafe et de la vitesse estimée de ses déplacements, tout en prenant en compte l'autocorrélation.

L'inconvénient des émetteurs satellites par rapport aux émetteurs VHF, c'est qu'ils nécessitent une quantité importante de batterie pour transmettre régulièrement les données. Ceci augmente considérablement le poids de l'appareillage.

Après discussion sur le type de fixation de l'émetteur sur l'animal, nous avons décidé d'utiliser une sorte de collier qui repose à la base du cou de la girafe. Pour que l'émetteur transmette correctement les données il doit être en position supérieure, avec un angle inférieur à 30° par rapport à l'horizontal. En Namibie, un système de collier a aussi été utilisé pour maintenir l'émetteur, et pour que ce dernier ne tourne pas, les batteries de l'émetteur servaient

de contrepoids à l'extrémité inverse du collier. La distance importante entre les batteries et l'émetteur a induit une diminution rapide de la tension alimentant l'émetteur. En Namibie, les colliers ont cessé de fonctionner rapidement du fait de ce manque de tension (Fennessy, 2004). Pour éviter ce problème, dans les colliers équipant les girafes au Niger, les colliers ont été conçus de façon à ce qu'émetteurs et batteries soient moulés dans un seul bloc, au sommet du collier. Pour éviter que le collier ne tourne, et afin qu'il puisse émettre correctement, un contrepoids important d'environ 5kg a été fixé à l'extrémité inverse de l'émetteur. Au final chaque collier pesait environ 10kg, soit environ 1,25% d'une femelle adulte (poids estimé à 800kg). Cette proportion poids du collier / poids de l'animal est tout à fait acceptable par rapport aux normes recommandées c'est-à-dire inférieur à 2% du poids de l'animal (Woolnough, 1998).

b. Choix des girafes

Compte tenu du nombre relativement restreint de colliers, nous avons décidé de n'équiper qu'une seule classe d'individus afin d'obtenir des résultats statistiquement exploitables. Seules les femelles adultes ont été équipées. Les femelles adultes sont la classe d'individus qui permet de faire le lien entre les aspects spatiaux et dynamique de la population (raison écologique). D'autre part, la girafe est une espèce fortement dimorphique, les mâles adultes sont environ 50% plus lourds que les femelles, leur manipulation est donc encore plus difficile que celle des femelles (raison technique) (Fennessy, 2004).

Les femelles adultes suitées (non-sénescents) et en bonne condition sont gestantes pendant une grande proportion de leur vie (del Castillo et al. 2005). Afin d'éviter tout risque lié à l'anesthésie d'une femelle adulte en gestation avancée, nous avons choisi des femelles adultes suitées avec des girafons d'environ 6 mois. Les femelles adultes suitées sont de fait non gestantes ou en tout début de gestation. Ces femelles allaitantes sont un modèle idéal pour étudier la sélection d'habitat d'une espèce sélective avec des besoins énergétiques importants. Les girafons des femelles à équiper avaient au minimum 4 mois afin de maximiser les chances de survie du jeune si la mère venait à être blessée ou décédait pendant l'opération de capture (raison éthique/conservation). Une quinzaine de femelles répondant à ces critères ont été présélectionnées.

Un véhicule avec les vétérinaires (3 ou 4 personnes), un véhicule pick-up avec l'équipe corde (environ 8 personnes) et un véhicule en back up étaient nécessaires au bon déroulement de l'opération.

c. Choix de la saison

Le Niger est un des pays les plus chauds du monde, avec des températures maximales atteignant parfois les 50°C. La moyenne des températures annuelles est élevée. Les risques liés à l'anesthésie augmentent avec la température (Chardonnet comm. Pers.). Ainsi, la période de l'année choisie pour anesthésier les girafes était la plus fraîche, en février (raison technique). D'autre part, si le domaine vital était bien renseigné en saison des pluies (grâce aux recensements des girafes en saison des pluies qui augmentaient le nombre de données récoltées en cette saison), le nombre de données en saison sèche était moins important. L'étude spatiale des girafes était donc prioritaire en saison sèche. De plus, en saison sèche, la quantité et la qualité des ressources diminuent. C'est sans aucun doute la saison la plus critique pour les girafes qui doivent maximiser leur prise alimentaire. On s'attend donc à ce que les girafes choisissent de l'alimentation de haute qualité, en particulier chez les femelles allaitantes.

5. Mise en place des colliers satellites

L'opération a été un grand succès en particulier grâce à la bonne collaboration entre les équipes locales et les experts internationaux. Le premier jour de l'opération a été consacré à former les membres de l'équipe aux techniques de capture de grands mammifères en général, puis à la technique de capture spécifique aux girafes sauvages. Un rôle précis a été attribué à chaque membre des équipes : sécurisation du périmètre de capture, utilisation de la corde, mise en place des colliers, maintien des girafes au sol etc. Le deuxième jour, nous avons équipé 3 girafes de colliers, mais dès le lendemain, 2 de ces girafes ont réussi à les enlever. Nous avons alors transformé les colliers en harnais en ajoutant une sangle passant derrière les pattes avant de la girafe. Il devenait impossible pour la girafe de se défaire de l'émetteur. Nous avons remplacé les 2 colliers tombés, transformés en harnais, sur 2 autres girafes. Du 7 au 11 février 2009, les 8 harnais ont été placés sur les girafes. Ce sont donc en tout 10 girafes qui ont été anesthésiées (voir tableau 1). Une onzième girafe a reçu une seringue anesthésiante, mais l'injection n'a pas eu d'effet – le produit n'avait sans doute pas entièrement pénétré le muscle - il lui a été injecté plusieurs doses d'antidote afin de prévenir tout risque. Aucune girafe n'a été blessée pendant l'opération.

Nous avons trop peu d'émetteurs disponibles pour équiper des girafes à la fois dans le cœur de la zone girafes et dans la zone de colonisation de Fandou pour tester des hypothèses statistiquement exploitables. Notre priorité était de comprendre les patrons de déplacements

des girafes dans le cœur de la zone girafes, c'est pourquoi nous avons équipé des girafes uniquement dans cette zone.

6. Déroulement d'une capture

La première étape consistait à repérer et sélectionner un individu à équiper. Les « bons candidats » avaient été présélectionnés en amont, et cherchés en priorité. L'avis des vétérinaires et des experts sur l'état de santé apparent de l'animal était systématiquement



requis avant de valider définitivement le choix de l'individu. Le vétérinaire en charge de l'anesthésie a fléché chaque girafe sélectionnée à l'aide d'un fusil vétérinaire à propulsion par CO² sous pression (fusil Dan Inject). Il s'agissait d'injecter une dose hyper-concentrée de produit anesthésique pour que la girafe soit immobilisée très rapidement, et évite de se blesser. Les premiers effets du produit anesthésique se font sentir au bout de quelques minutes. Pendant ce temps, la girafe reste calme. Puis, la girafe se met à courir. Les équipes de capture suivent alors la girafe à une distance suffisante

pour éviter d'augmenter le stress de l'animal, tout en étant capable de réagir très vite si la girafe venait à tomber. Sous l'effet de l'anesthésique, au bout de quelques minutes la girafe ralentit sa course. « L'équipe corde » doit alors devancer la girafe, sauter du véhicule et se placer devant la girafe avec la



corde tendue le plus haut possible. La girafe continue d'avancer avec la corde au niveau du poitrail, et des équipiers viennent aider à retenir la girafe. Puis, les équipiers des 2 côtés de la corde se croisent à l'arrière de l'animal de sorte que la corde encercle les 4 pattes. La girafe tombe alors au sol, et elle est maintenue au sol. Un périmètre de sécurité autour de la zone d'intervention est alors mis en place par les forestiers locaux afin d'éviter tout accident avec les villageois. Un casque spécial qui empêche la girafe de voir est installé, et du coton est placé dans les oreilles, dans le but de diminuer au maximum le stress. Dans le même temps, le vétérinaire injecte l'antidote à la girafe. Celui-ci a la

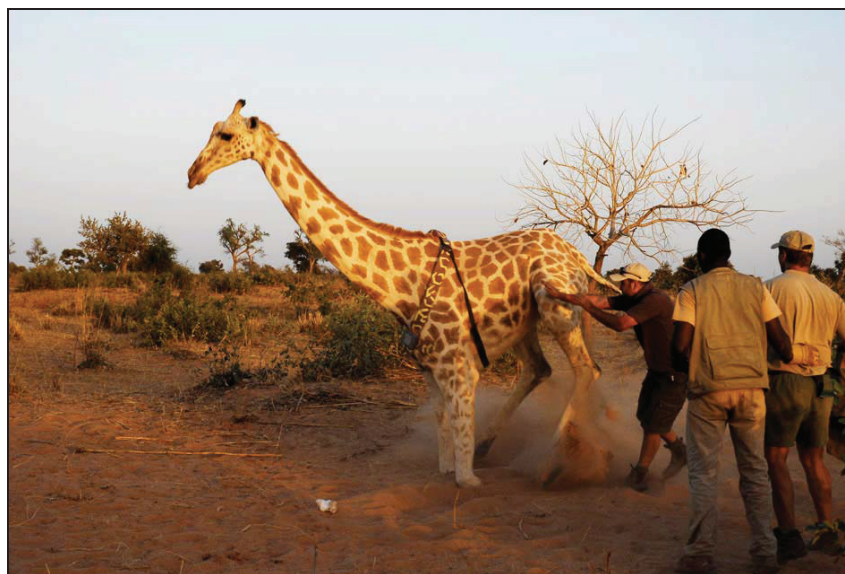


particularité d'agir « sous la seringue », c'est-à-dire immédiatement. Quand les équipiers manipulent la girafe au sol pour lui installer le harnais et prendre des mesures, la girafe est donc parfaitement réveillée. Le but de l'utilisation de la corde est de diminuer au maximum le temps entre l'injection du produit anesthésique et l'injection de l'antidote.

Nous sommes contraints d'utiliser ce type d'anesthésique et antidote très puissants car une girafe anesthésiée ne peut rester couchée sous peine de décéder très rapidement. En plus de l'installation des harnais, nous avons procédé à la mesure détaillée des animaux à chaque fois que cela était possible, c'est-à-dire quand l'anesthésie et le réveil se

passaient parfaitement bien. Dans 8 cas sur 10 nous avons pu effectuer ces mesures (voir Tableau 9). Dans 2 cas nous avons préféré réduire au maximum le temps pendant lequel la girafe était couchée, et nous n'avons pas effectué de mesures. Ces mesures sont précieuses car très rares chez cette sous espèce, qui, rappelons-le, n'est pas présente en captivité.

Dans la moitié des cas, l'utilisation de la corde n'a pas été nécessaire car la girafe tombait avant que l'équipe corde ait le temps d'intervenir (voir Tableau 9)



7. La visite du Ministre et des journalistes

La mise en place des émetteurs a aussi été l'occasion de sensibiliser les populations locales et le grand public à la conservation de cette population unique de girafes. Cette sensibilisation s'est effectuée à l'échelle nationale à travers la diffusion simultanée de documentaires dans les journaux télévisés de toutes les chaînes nationales et grâce à des articles de presse internationale et d'une dépêche AFP relayée dans de très nombreux journaux. La visite sur le terrain du Ministre de l'Environnement et de la Lutte contre la Désertification a amplifié la portée de l'évènement.



Nous avons rencontré le Ministre aux étapes clés de l'opération. Un briefing a eu lieu avant l'opération de capture pour lui détailler les objectifs, les détails techniques de l'opération et lui présenter les émetteurs.

Le Ministre est ensuite venu en personne sur le terrain pour assister à une capture de girafe. Lors de sa visite, le Ministre est venu en compagnie du Directeur Général du Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre la Désertification, du Directeur de la Faune, de la Chasse et des Aires Protégées. Le Directeur de la Division Faune a quant à lui participé



personnellement aux captures girafes. Après la mise en place avec succès d'un collier sur une girafe, le Ministre a tenu à s'exprimer devant tous les villageois qui nous ont fait la surprise de nous rejoindre à notre camp de base – soit environ 500 personnes. Le Ministre a expliqué aux villageois le rôle des émetteurs, et rappelé « l'importance des girafes pour le Niger ».

Un débriefing a eu lieu après les captures dans le bureau du Ministre, où nous avons été félicités chaleureusement pour le bon déroulement de l'opération, et pour nos efforts pour préserver les girafes.

8. Acquisition des données

Les émetteurs ont été paramétrés pour fournir une localisation par heure: chaque heure, l'émetteur communique au satellite sa localisation. Si la transmission échoue, l'émetteur réessaie 2 fois. Si au bout des 3 tentatives l'information n'est pas passée, elle est définitivement perdue. La cause la plus courante de perte d'information est la mauvaise position de l'émetteur sur le dos de la girafe qui forme un angle de plus de 30 degrés avec l'horizontale.

Un collier a très peu fonctionné car il était trop tourné sur le dos de la girafe. Les données récoltées par ce collier n'ont pas été prises en compte dans les analyses.

Un autre qui communiquait toujours la même localisation a été retrouvé peu de temps après le départ des équipes de capture, à l'aide du système VHF, dans une case d'un villageois. Ce dernier a expliqué qu'il avait trouvé le collier par terre. La girafe a été revue ensuite en bonne santé. Il s'agissait du seul collier qui n'avait pas été transformé en harnais et qui était resté au cou de la girafe jusqu'après le départ des équipes de capture.

Les 6 autres émetteurs ont bien fonctionné dans l'ensemble et ont permis de récolter plus de 4500 localisations individuelles au total sur une période de 3 mois.

9. Le retrait des émetteurs satellites

Le 26 avril, nous nous sommes rendu compte que les colliers étaient mal adaptés aux girafes, certains irritant voir blessant les individus à la base du cou. Après consultation des vétérinaires impliqués dans la pose des colliers, il a été décidé par mesure de précaution de retirer tous les colliers. Immédiatement, nous avons pris les dispositions nécessaires pour former une équipe de capture.

Le Ministère de l'Environnement du Niger a été maintenu informé au fur et à mesure. Il a participé activement au bon déroulement de toutes les étapes de l'opération. Le Dr Pete Morkel, vétérinaire Sud-Africain très expérimenté en capture de girafes a accepté de venir nous aider. Il est arrivé au Niger le 4 mai 2010 avec tout le matériel de capture, et les



produits anesthésiques. Tous les colliers ont été enlevés en une journée. L'opération s'est parfaitement déroulée, et a été extrêmement rapide. Toutes les girafes se sont couchées (d'elles-mêmes ou aidées par les équipes corde) en moins de 5 minutes dans la plupart des cas. L'emploi d'un autre anesthésique, apparemment encore plus efficace que celui utilisé lors de la mise en place des colliers, est probablement à l'origine de ce temps d'induction réduit. Une fois au sol les colliers ont été coupés, des doses importantes d'antibiotiques ont été administrées aux girafes pour prévenir tout risque d'infection. Les plaies au niveau du cou ont aussi été nettoyées et désinfectées. L'ensemble de l'opération a duré en moyenne 20 minutes par girafe (voir Tableau 10).

Toutes les girafes portant des colliers se sont rapidement rétablies. Le succès de l'opération tient surtout à la rapidité de la mise en place de l'opération, au professionnalisme des équipes, à la bonne coordination entre tous les intervenants, et à la rapidité d'exécution lors des captures.

10. Ce que nous avons appris

a. Amélioration de la construction de colliers émetteurs pour l'espèce girafe

Cette étude innovante servira de base de travail et de réflexion aux prochaines opérations de mise en place de colliers émetteurs sur des girafes. Ainsi, les acquis de cette étude ont permis de faire de grands progrès en matière de construction des colliers. Une discussion par Email avec tous les spécialistes impliqués dans les captures a conduit aux recommandations suivantes pour le design des colliers girafes:

- Les colliers doivent être plus légers
- Le poids du collier doit être mieux réparti : pour ce faire la forme du collier doit épouser la forme du dos de la girafe (collier en forme de selle de cheval)
- Les bords de l'émetteur doivent être arrondis et non plats
- La sangle passant derrière les antérieurs doit être lâche, rigide et non pas élastique (en effet, l'élastique ramène le collier toujours à la même place ce qui peut augmenter le frottement avec le dos de la girafe)
- Le collier doit être plus confortable pour la girafe, et recouvert d'une matière diminuant les frottements
- Les colliers doivent être plus flexibles.

b. Amélioration de la technique de capture des girafes d'Afrique de l'Ouest

Avant ce projet, il y a eu d'autres tentatives de captures de girafes d'Afrique de l'Ouest. Elles se sont soldées par la mort de toutes les girafes capturées. Ici, 2 produits anesthésiques ont été testés avec succès : l'*Etorphine* et le *Carfentanyl*. Les bons dosages de ces produits et la maîtrise des techniques de captures ont permis aux équipes de procéder à l'anesthésie de 17 girafes avec 100% de réussite.

Tableau 9 Données des captures lors de la pose des colliers girafes

N°	Capture date	Giraffe N°	Age		Collar N°	Collar frequency	Capture site			Roping		Dose		Antidote		Darting site	Timing			
			Yrs.	Calif mths.			N	E		Y/N	M99 mg	A3080 mg	Diprenorphine ml	Naltrexone ml	Inject. hour		Down mn	Induct. mn	Total mn	
1	07/02/2010	71	9	6	1	149,030	13,226306	2,8138333		N		7	7	2	1.5	R R	08h15	12,5	6,5	19
2	07/02/2010	70H	12	7	5	149,730	13,239389	2,8195		Y		6	7	2	1.5	F L	09h50	13	13	26
3	07/02/2010	508	?	?	4	149,420	13,24325	2,7571667		Y		7	8	2	1.5	R L	17h26		9	
4	08/02/2010	16	?	4	7	149,880	13,26425	2,8088333		Y		7	8	2	1.5	R L	17h15	9	20	29
5	09/02/2010	216B	6	?	5	149,730	13,246556	2,8196389		N		7	8	2	1.5	F R	09h27			21
6	09/02/2010	516	?	?	3	149,280	13,281056	2,8411667		Y		7	8	2	1.5	F R	18h18			18
7	10/02/2010	111	?	?			13,263083	2,8191389		N		7	8	2	1.5	F L	09h51	0		
8	10/02/2010	484	?	4	2	149,160	13,322694	2,7930833		N		8	8	2	1.5	F R	18h19	13	6-7	20
9	11/02/2010	120	?	?	3	149,280	13,233722	2,8164167		N		8	8	2	1.5	R L	08h33	18	<3 (IV?)	20
10	11/02/2010	121	?	6	8	149,930	13,217444	2,7373611		Y		8	8	2	1.5	R R	09h56			22
11	11/02/2010	223	?	?	4	149,420	13,13025	2,7879167		N		?	?	2	1.5	R L	17h24	15	5	20

N°	Measurements					Parameters			Extra drugs				Result	Observations		
	Head cm	Hornl cm	Ears cm	Neck cm	Back Tail cm	T° °	Heart rate/mn	PO² %	Respiration resp/mn	Inesthesia dos/mn	Propam ml	Antidote ml		Obs.1	Obs.2	Obs.3
1	62	12	21	166	43?	36.5			18				Collar on without harness			
2	63	10	22	191	106	38.0							Collar off			Collar off found: N13°1254.3° E02°4559.5°
3	64	12	21	150	127	38.2	45	93	20		12	half dose	Collar off	No improvement in PO²	Collar off found: N13°1609.9° E02°4946.7°	
4	59	9.5	20	175	130	38.5	44-46	88-92	16			2/3	Collar on with harness	No improvement in PO²		
5	64		19	160	118	74	35	93	15				Collar on with harness	Minister & VIP		
6	61	9	24	192	120	77	76-80	90-95	20				Collar on with harness	AFP journalist		
7													No collar	13.3km run direct line	Dart in shoulder tip	3 reversal darts: 1 lat, 1 rump, 1 shoulder
8	74	9	20	188	121	74	65	90-92	20		25		Collar on with harness	Good kicking		
9							33-36	82-92	12-16 (apnées)		25	12	Collar on with harness	Irregular, laboured & shallow respiration	on bar hanged on the harness when leaving	
10	64	9	18	158	136	67	44-76	84-90	20		25		Collar on with harness	Good		
11							66-92-65	79-62-90	20		25	12	Collar on with harness	Irregular, laboured & shallow respiration		

Tableau 10 Données des captures lors du retrait des colliers girafes

N°	Capture date	Giraffe N°	Collar N°	Capture site		Roping	Dose		Antidote		
				N	E		Y/N	Etorphine	Hyaluronidase	Diprenorphine	Naltrexone
1	05/05/2010	223	4	13,23262	2,73517	N	15	2500	36	100	
2	05/05/2010	216B	5	13,20456	2,72818	Y	15	2500	36	100	
3	05/05/2010	516	3	13,20086	2,73244	N	15	2500	36	100	
4	05/05/2010	120	3	13,1999	2,7317	N	15	2500	36	100	
5	05/05/2010	121	3	13,24766	2,72863	N	15	2500	36	100	
6	05/05/2010	484	2	13,29278	2,75456	Y	15	2500	36	100	
7	05/05/2010	16	7	13,32504	2,77192	Y	15	2500	36	100	

	Timing				Extra drugs				Observations
N°	Inject.	Down	Induct.	Total	Anesthesia dose	Oxytetracycline	Dectomax	Result	Obs.1
	hour	mn	mn	mn	ml	mg (200mg/ml IM)	mg (10mg/ml)		
1	7H45	10	1,5	11,5		1000	15	Collar off	
2	8H44 & 9H03	9	12	40	1 dose	1000	15	Collar off	First dose 8H44 in the left front leg : no effect
3	10H04	7	3	10		1000	15	Collar off	
4	10H40	5,5	10	15,5		1000	15	Collar off	
5	11H50	7,5	3	10,5		1000	15	Collar off	
6	16H50	6	4,5	10,5		1000	15	Collar off	
7	17h42	6,5	4,5	11		1000	15	Collar off	

c. Amélioration des connaissances sur l'écologie des girafes d'Afrique de l'Ouest

Même si les colliers ont été retirés précocement, nous avons beaucoup appris sur la capture des girafes (produits anesthésiques, dosage), sur l'amélioration le design des colliers, et nous avons récolté des données écologiques uniques (voir article dédié à la sélection d'habitat ci-après).

d. Amélioration des capacités

Le projet est intervenu en fin d'un long processus de transfert de capacité aux Nigériens. Le transfert de capacité et la volonté d'ouverture ont systématiquement été privilégiés à toutes les étapes du suivi scientifique que j'ai réalisé en parallèle de ma thèse :

- Appui aux cadres de l'ASGN sur les aspects scientifiques et pour le fundraising
- Formation de 2 forestiers au suivi des girafes (cours théoriques et sur le terrain)
- Formation des guides
- Formation d'animateurs et création d'outils pédagogiques
- Encadrement d'un étudiant nigérien en maîtrise
- Communication grand public : conférences à Niamey (Niger), Phoenix (USA), Etosha (Namibie), et accompagnement de nombreux journalistes sur le terrain

11. Evaluation des acquis de l'opération

Tableau 11 Evaluation des acquis de l'opération

Construction des colliers Poids, forme	1
Méthode de capture Anesthésique, dosage	1
Formation du personnel local aux captures Ministère, forestiers, ASGN, guides	1
Connaissance du domaine vital des girafes	0,5
Connaissance des zones d'expansion des girafes	0
Connaissance des rythmes d'activité des girafes Rythmes diurnes et nocturnes	1
Connaissance de l'écologie sociale des girafes Fusion - scission des groupes	1
100% de survie des individus anesthésiés	1
Total	6,5/8
Total en %	81%

Plus de 80% des objectifs de cette partie du projet ont été atteints. Malheureusement, le retrait précoce des colliers n'a pas permis d'obtenir de données en saison des pluies, ni de renseigner sur les nouvelles zones d'expansion des girafes (en dehors de la zone de Fandou). Cependant, l'opération colliers émetteurs sur les dernières girafes de l'Afrique de l'Ouest a été en grande partie une réussite.

Nous avons analysé les données des colliers émetteurs girafes. Nous avons souhaité comprendre la relation entre la girafe et les habitats (ressources clés), et les hommes (source de perturbation). Nous avons testé l'influence de ces facteurs, à travers l'effet de la densité d'arbres, la distance aux villages, et la distance aux points d'eau, sur la sélection d'habitat des girafes à l'échelle du domaine vital et à l'échelle du patch d'alimentation. Du fait des contraintes élevées des histoires de vie des girafes, en particulier chez des femelles adultes allaitantes, pendant la saison sèche, nous nous attendons à une sélection des zones à forte densité d'arbres. Cette étude pourra montrer pour la première fois une sélection d'habitat des girafes le jour, mais aussi la nuit (toutes les autres études girafes ayant eu lieu le jour, sur cette espèce pourtant aussi active la nuit). Dans ce contexte de cohabitation humains-girafes nous nous attendons à des sélections d'habitat différentes le jour et la nuit, où le jour les girafes éviteraient les villages et les points d'eau, car la perturbation humaine est forte. La nuit, nous nous attendons à une plus grande tolérance des villages et des points, d'eau due à une plus faible perturbation humaine. Cette analyse (à l'aide d'une Ressource Sélection Function) a donné lieu à un article aujourd'hui en préparation.

D. Multi-scale giraffe habitat selection in a human-dominated landscape.
Article en préparation.

Multi-scale giraffe habitat selection in a human-dominated landscape.

Article en préparation

J.-P. Suraud¹, V. Tolon¹, A. M. Issa³, H. Fritz¹, J.-M. Gaillard¹

¹Laboratoire de Biométrie et Biologie Evolutive (UMR5558), CNRS, Université Lyon 1, 43

bd 11 nov, F-69622 Villeurbanne Cedex, France. e-mail : Jean-Patrick Suraud

girafesduniger@gmail.com ; Jean-Michel Gaillard : jean-michel.gaillard@univ-lyon1.fr ;

Hervé Fritz : herve.fritz@univ-lyon1.fr; Vincent Tolon : vincent.tolon@gmail.com

²Abdou Malam Issa, Direction de la Faune, de la Chasse et des Aires Protégées, Ministère de

l'Environnement et de la Lutte contre la Désertification, République du Niger – e-mail:

malam_ia@yahoo.fr

Abstract

Understanding habitat selection has become critical for endangered species, because habitat destruction is one of the principal causes of species extinction. In human–altered landscape animals are often constrained to balance cost and benefits of optimal foraging and avoiding human that constitute a form of predation risk. In this context, temporal variations of disturbance might be a preponderant driver of animal behavior that should avoid human principally during high risk period (daytime) and reach a resource driven habitat selection during low risk period (nighttime). We tested this general prediction on the endangered West African giraffe that has huge constraints on food requirement due to its large body mass and due to its high selectivity being a browser, and face marked human-induced disturbance. We performed a Resource Selection Function with mixed effect on locations, during the dry season, of 8 adult lactating females giraffe fitted with Global Positioning System collars in the North Dallol Bosso (Niger). We tested tree density, distance to surface water and to villages as key drivers of giraffe habitat selection both within home range of individuals (home range scale) and with a 200 radius around observed location (location scale). Giraffe showed as expected a selection for high trees density that appeared to be stronger at night, at least at the location scale. Moreover giraffes avoided villages during daytime and become more tolerance to their presence at night, supporting the general prediction. Surprisingly, giraffe were even attracted by villages at night, at the location scale, when villages were close to water points. In a period of low resource abundance and high energy requirements, the combination of water availability, high density of tree around villages and presence of different agricultural production could explain why the human disturbance source turned into attractive foraging areas when the risk disappeared. In parallel of rapid giraffe population growth, habitat destruction increased in the study area and our results suggested that villages could be become more and more attractive for giraffe with strong consequences on human-giraffe cohabitations. Mitigations of these conflicts and giraffe habitat protection become therefore essential for long term West African giraffe conservation.

Introduction

Understanding habitat selection has become critical in particular for endangered species, because habitat destruction has been increasingly recognised as one of the principal causes of species extinction (Cardillo, 2005). Habitat selection is the disproportionate use of available resources and strongly depends on the scale of measurement (Wiens, 1989). Habitat selection occurs hierarchically in the following order: geographical range of a species or a population (geographical scale), individual home range settlement in the population area (population scale), patch selection within individual home ranges (home range scale) and item selection within the patch (patch scale) (Johnson, 1980; Manly, 1993). Habitat selection measured at one scale is not sufficient to predict habitat selection at another scale (Mayor et al. 2009). Indeed the environment can reveal different properties at contrasted scale (Levin, 1992) and animals can respond to different factors to maximize their fitness (Rettie and Messier, 2000). At first, individuals may distribute themselves according to resource distribution in order to maximize their energy gain (the Optimal Foraging Theory, MacArthur and Pianka, 1966). However, in most cases variations of predation risk forces them to balance cost and benefits of optimal foraging and safety from predation (e.g. Brown, 1992). In this context, temporal variations of the predation risk is also a preponderant driver of prey behavior that avoid predator principally during high risk period and forage during low risk period (Lima and Bednekoff, 1999; Sih et al. 2000)

These patterns highlight the need to focus on temporal variations of habitat selection that can strongly reflect environmental constraints experienced by animals (Fortin et al. 2002; Gaillard, 2010). Assessing any circadian variation in the habitat selection of a species is a first step in fully understanding its ecology, especially in a conservation context. Circadian shifts in mammal ecology potentially make interpretations using only diurnal activities, habitat selection and ranging behavior inaccurate (Morgan, 2010). Beyond many environmental factors like luminosity, temperature, rain and access to resources (Erkert and Kappeler, 2004; Donati and Borgognini-Tarli, 2006) predation risk may strongly drive circadian variation in prey habitat selection as soon as predator activity follow circadian rhythms (Crosmar et al. in press).

Habitat selection also depends on individual traits like body size and feeding strategy. Among herbivorous species, feeding tactics are closely related to body mass. In general among

ungulates, browsers are smaller than mix-feeders, which are smaller than grazers (Fritz and Loison, 2006). The giraffe is however a mega herbivore and a browser that does not fit with this observation. Thus, it has huge constraints on food requirement due to its large body mass, and due to its high selectivity being a browser (leaves represent more than 85% of the giraffe foraging time, Ciofolo and Le Pendu, 2002). For this species, habitat selection is expected to be highly driven by food resource quantity and quality due to high life history constraint. Giraffe can however face marked human-induced disturbance that could be considered as a particular form of “predation risk” at least from the animal point of view (Frid and Dill, 2002). Spatiotemporal variations of the human disturbance could therefore engage individuals in a trade-off between energy acquisition and risk similar to natural systems, leading to avoiding of disturbed areas during peaks of human activity (e.g. at day), and returning to a resource-driven distribution during quiet periods. However, given the huge constraint on food requirements for giraffe, it is unclear how both human disturbance and food distribution would impact habitat selection in a context of close human-giraffe cohabitation with a recent increase in conflict (Leroy 2009; Morou, 2010). Wild giraffe ecology was never studied during night. Nonetheless, giraffe is one of the mammals (with the horse and elephant for instance) that has the shortest sleeping period (Tobler, 1996). Thus, we hypothesize that wild giraffe could forage freely at night and diverge from the resource driven distribution to avoid human disturbance during daytime.

We aimed to test forage density, surface water and human disturbance as key drivers of giraffe habitat selection at both home range and location scale. We performed a Resource Selection Function (Boyce and McDonald, 1999) with locations of 8 adult lactating females giraffe fitted with Global Positioning System collars during the dry season. This study is only the second time ever that giraffe are equipped with satellite collars. In the first study, data were collected on a daily basis (Fennessy, 2004). In our study, we collected data on a hourly basis allowing to detect giraffe habitat selection during day and night period. Because of high food requirements of lactating females giraffe during the dry season (low food quantity and quality), we first expected collared giraffe to select principally areas with high food density (tree density), whatever the day period. Then we expected that during daytime, giraffe should avoid villages and water points, where human disturbance is high. At night giraffe might however become tolerant to villages and select for water points. Finally we expected this circadian dynamic to be more apparent at the location scale whereas the resource effect might

principally drive the selection at the home range scale (e.g. higher tree density in the home range than in the landscape on average).

Methods

Study species

The endangered West African giraffe is a genetically unique population represented only by the subspecies *Giraffa camelopardalis peralta*. The number and home range of West African giraffe declined during the 20th century to the point of almost extinction. These giraffe live outside protected areas, without natural predators and share their habitat with local people and their livestock. Since the end of poaching in 1996, the population increased quickly from 50 to around 220 individuals in 2009 (Suraud et al. *in press*).

Study site

In their core range (around 60 km East of Niamey, the capital of Niger) previous work showed West African giraffe were mainly located in the Koure Plateau during the rainy season, whereas almost all giraffe were located in the North Dallol Bosso/ Intermediate Zone during the dry season. The North Dallol Bosso is an ancient river valley that carries surface water in the rainy season but maintains subsurface water at all other times, making it a magnet for human habitation (Decalo, 1979). The North Dallol Bosso vegetation is dominated by trees species (*Combretum glutinosum*, *Faidherbia albida*, *Balanites aegyptiaca*) and shrubs (*Guiera senegalensis*). It is a sandy region with permanent water in numerous hollows with a relatively fertile soil. The Intermediate Zone has highly degraded vegetation due to deforestation (Ambouta, 2006). Vegetation is essentially composed by the same tree species and shrub as in the North Dallol Bosso, but with lower density due to lower soil fertility. In these areas there are numerous cultivated fields crop (e.g., millet, sorghum, and beans).

Data collection

In February 2010, 8 lactating female giraffe were equipped with GPS satellite collars. The collars were set to transmit giraffe localization every hour. One collar did not transmitted data. One giraffe removed the collar one week after being equipped. The other 6 collars provided data during 3 months during dry season 2010. Indeed, collar design appeared not to be perfectly adapted to giraffe, and we decided to remove them all to prevent any injury on giraffe of this endangered population.

Habitat variables

To assess individual home range size, we used the 95% and 50% fixed kernel estimator, which is the common criterion to identify the core area. Previous work has demonstrated that Kernel methods usually provide more accurate home range size estimates than MCP models (Laver and Kelly, 2008). The smoothing parameter h corresponded to h_{ref} . For a given individual, we measured the overlap diurnal (d) and nocturnal (n) home range with HR95 method ($HR_{95}[d,n] = A_{95}[d,n] / A_{95}[d]$, and $HR_{95}[n,d] = A_{95}[d,n] / A_{95}[n]$).

We measured habitat variables on a 100×100m grid. First, for each 1 ha unit, we computed the distance (in km) to villages (variable name: 'village') and to water points ('water') located on the study site. Then we computed a tree density index (tree) based on photo interpretation of a very high resolution map (1.5 meter). We attenuated the positive skew of all habitat variables with a log transformation. The daily period ('period': Day/Night) was determined according to sunrise and sunset of the study site that changed progressively along the study period.

We analyzed habitat selection of giraffe at two contrasted scales by defining different habitat availabilities: home range scale and location scale (Bailey et al. 1996). (At the home range scale, we randomized uniformly points within individual 100% Minimum Convex Polygons (MCP) with a mean density of 16 points per km². At the location scale we randomized points within 200m radius buffers areas designed around each observed locations, with a density of 42 points per km². We duplicated each simulated dataset to obtain identical availability estimates for “day” and “night” and added observed locations. We obtained two dataset of 25968 and 26118 points at the home range and the location scale respectively. For a given dataset we measured habitats variables for all locations, determined “day” and “night” modalities and affected absence (0) and presence (1) to simulated and observed locations respectively.

Habitat selection

We used a Resource Selection Function (Boyce and McDonald, 1999) to model the presence probability of giraffe with the tree log-density, the log-distance to villages and the log-distance to water according to the day period. We used a generalized linear model with mixed effects as recommended by Gillies et al. (2006). To take into account the sampling heterogeneity amongst individuals and day period, we included a random intercept for

individuals and a random intercept for the period nested in individuals. We included an individual random coefficient for each habitat variable, to integrate individual differences of selection due to heterogeneous availability or individual strategy. We built several models of varying complexity according to hypothesis tested. The full model included the additive terms of tree, village and water to model the general selection for these habitats. We also included the interactive effects between village and water to test if water points became more specifically disturbance sources when they were located close to human habitations. Finally we included the effect of the day period, and all interactions between habitats, tree and period, village and period and water and period, to test how temporal variations in human disturbance and environmental conditions influenced the habitat selection. We performed a model selection procedure (Burnham and Anderson, 2002) on 39 models based on the corrected Akaike Information Criterion (AICc), the difference of AICc with the best models (Δ_i), and the Akaike weight (w_i). We used the AICc and computed the number of parameters as in Hebblewhite and Merrill (2008, $d = 1$ coefficient per fixed effect + 1 per random intercept + 2 per random coefficient for variance and covariance) because we intended to generalize conclusions on the population and were not interested specially by individual heterogeneity (see, Vaida and Blanchard, 2005). Following Burnham and Anderson (2002), models with a difference of AICc (Δ_i) lower than 2 were considered plausibly similar and could be interpreted. All analyses were performed using R software (R Development Core Team, 2011) with the "adehabitat" package (Calenge, 2006) for analyses of habitat selections and with "lme4" for mixed-effects generalized linear models.

Results

The mean home ranges size was $110.3 \text{ km}^2 \pm 34 \text{ km}^2$. Overlaps of diurnal ranges regarding to nocturnal ranges were stronger (0.93 ± 0.05) than the inverse comparison (nocturnal range regarding to diurnal range, 0.68 ± 0.07). Diurnal ranges were therefore mainly included in nocturnal range.

Both model selection procedures showed quite similar results. The 18 first models for both selection procedures was identically ranked but differed in their Δ_i (Tableau 12, and Tableau 13). At the home range scale the most parsimonious model showed a selection for trees, an interactive selection between the distance to villages and to water points and a differential selection for villages according to the day period (Tableau 12 and Tableau 14). During daytime, villages were mainly avoided by giraffe that became however slightly more tolerant

to this disturbance source close to water points. At night, giraffe showed a greater tolerance for villages that seemed even attractive when they were close to water points.

At the location scale, the best model was similar to the best model described above for the home range scale, but included additionally the term tree and period that reveal an increased selectivity for trees at night (Tableau 13 and Tableau 14). The model selected at the home range scale had a Δi of 0.49 (against 5.54 in Tableau 12) that reveal the relevance of this dynamic selection for tree specifically at the location scale. Moreover the tree selectivity, seemed to be lower than for the home range scale (Tableau 14) whereas the interaction between village and water appeared to be stronger, leading to apparent positive selection for village close to water points at night (Tableau 14, Figure 20)

Discussion

Our results showed, for all collared giraffe, that home ranges were bigger during nighttime than during the day, and diurnal home range is included in nocturnal home range. Moreover the observed selection for tree was higher at night, at least at the location scale. This suggests important activity of giraffe during night (e.g. foraging behavior). Previous nocturnal observation trial, with infra-red cameras, occurred on November 2009. Giraffe were observed feeding, and walking from a tree to another most of the time (pers.obs.). This result is also consistent with captive giraffe studies showing sleeping period is very short / 24H00 and composed by 1 to 35 minutes naps on average. No wild giraffe study was previously scheduled during night, and giraffe were suspected to have low activity at night, as a response to nocturnal predation (Pellew, 1984). In Niger, West African giraffe do not face with predation, thus West African giraffe habitat selection is driven by other factors. With high temperature during daytime, maybe nocturnal activity is also a response to thermoregulation constraints. Moreover, human disturbance being higher during daytime, nocturnal behavior could be adaptive behavior.

Being a mega herbivore, and a browser (e.g. selective), giraffe major activities is foraging, and walking from tree to tree for foraging (Fennessy, 2004; Pellew, 1984). Thus, as expected, both at the home range and the location scale, giraffe showed a selection for high density of trees. At the location scale, this selectivity of trees appeared stronger at night. As expected, results showed an avoidance of villages during daytime when human disturbance is high and a higher tolerance during night time, at least at the home range scale. Surprisingly, giraffe were

not only more tolerant to villages at night at the location scale, but show a reverse selection for villages compared to daytime, and were attracted by villages at night when villages were close to water points (Figure 20). Tree density is very high around the village (Figure 19), that can be very attractive for giraffe. Moreover, the closer examination of giraffe map locations confirms that giraffes come sometimes very close to villages, and even enter in some of them (Figure 18). We observed several and regular giraffe locations on specific places very close to a village in the Dallol corresponding to granaries where villagers store their crops: mainly millet, sorghum, and beans. Various giraffe studies reported villagers complains accusing giraffe eating beans in the fields (Leroy et al. 2009; Morou, 2010) but none of them ever reported direct observations of giraffe eating in granaries. Giraffe were not reported eating millet or sorghum, but an increasing number of villagers complained about giraffe destruction of beans directly in the fields, and in the granaries (Leroy et al. 2009, Morou, 2010). Our study appeared to confirm that some giraffe eat in granaries. From an energetic perspective, this behavior is not surprising, as beans represent a high quality food, containing high quantity of protein, vitamins and minerals (Ehlers, 1997). In the Dallols, “natron” is extracted by villagers in the river bed, and is used to cattle forage complement. Indeed, natron is mainly composed by carbonate de sodium and is full of minerals. In our case, giraffe collared were adult lactating females (all had calves around 4 to 6 months), thus their energy and minerals needs were high. In a period of low resource abundance, the dry season, these giraffe were expected to select areas with high food quantity (high density of tree) and high quality forage (e.g. beans).

Selection for villages increased with water point proximity which suggests that water availability, in combination with high local tree density and the presence of granaries, and possibly natron, may be important for giraffe which only access to water during nighttime. In this area all families have cattle, and in particular during the dry season human and cattle water needs are high in Sahel. Thus, human and cattle disturbance should be particularly high around the water points during this season. Various studies showed very limited observations of giraffe drinking. In a previous behavior study of this population of giraffe, diurnal giraffe drinking time was reported 0.03% of activity budget (Ciofolo, 1998). In Namibia, where weather condition are even more extreme than in Niger (desert), giraffe were almost never seen drinking neither (Fennessy, 2004). As suggest many authors (Ciofolo, 1998; Dagg and Foster 1976; Fennessy, 2004) giraffe could be completely independent to water as giraffe select the youngest tree leaves containing high proportion of water. Interestingly, a high

proportion of West African giraffe forage during the dry season is composed by *Faidherbia albida* (Ciofolo, 1998) which has a reverse phenology, and keeps its leaves during this season. This tree species could help giraffe being relatively independent to water during the dry season. In spite of these low time allocation to the drinking behavior, our study showed however that water proximity was a non-negligible driver of the giraffe habitat selection. This highlights probably the contrast between time budget and habitat selection, especially for the access to water that could strongly limit animals in space even if animals spend very few time drinking.

Giraffe habitat selection pattern is different between day and night. Diurnal habitat selection is shaped by human disturbance, with giraffe avoiding villages. For lactating adult female, village become however attractive, at the location scale, when combined with water proximity, probably because of high density of tree around the villages (high quantity of forage), numerous granaries (beans is high food quality), presence of natron in the Dallols (source of mineral), and water availability. The Dallol is a magnet for human population, leading to high human density in this area (Decalo, 1979), but seems also to offer ideal conditions for adult female giraffe. As giraffe is highly dimorphic, it would be interesting to assess habitat selection of adult males that have higher quantity of food resource requirements (50% bigger than females), but with less requirements for quality food than lactating females, and a probable higher tolerance to risk due to their reproductive strategy. As villages concentrate both high quantity and quality resource for giraffe, we suspect males should be attracted by villages too.

From 1996 to 2008, the annual growth rate of this giraffe population is the highest ever recorded for a giraffe population (Suraud et al. *in press*). Such a huge growth rate was possible because of the absence of predators, and thanks' to the end of poaching. Our previous population dynamics study shows that almost all females of the population gave birth every two years, which is close from the minimum birth interval for a wild giraffe (Dagg and Foster, 1976). This suggests that almost all adult females are in good conditions in this population. We hypothesize that high nutrient food available coming from human activity (beans, mango), is another factor which can potentially participate to this high growth rate of the population. Nevertheless, in parallel of rapid giraffe population growth, human population is increasing quickly in this area, with Dallol offering good agriculture and animal breeding conditions which leads to human emigration in this area. Habitat destruction is high in the

area to implement new field crops, and to cut wood for selling outside the village surroundings. As a consequence, we can fear that in the future the villages will be even more attractive for giraffe, as they can find most necessary resources around and in the villages. This is not without consequences on human-giraffe cohabitations. Conflicts are already increasing in the area (Leroy et al. 2009; Morou, 2010). Giraffe are protected in Niger, and poaching forbidden, but if conflicts continue increasing it can lead to poaching, and/or giraffe migration in search of new area (e.g. with less human disturbance). Both effects have consequences on giraffe population dynamics, as giraffe are more likely to be poached outside this area, in particular if crossing the Mali or Nigeria border. Thus, human – giraffe conflicts can ultimately affect West African giraffe survival, as it remains a very fragile population, with only around 220 individuals in 2009. Mitigations of these conflicts and giraffe habitat protection are essential for long term West African giraffe survival.

References

- Ambouta, K. J. M. 2006. Contribution à l'élaboration d'une stratégie de conservation à long terme de la girafe (*Giraffa camelopardalis peralta*) au Niger. Page 39-55. Parc Régional W (ECOPAS), Niamey, Niger.
- Bailey, D. W., J. E. Gross, E. A. Laca, L. R. Rittenhouse, M. B. Coughenour, D. M. Swift, and P. L. Sims. 1996. Mechanisms that result in large herbivore grazing distribution patterns. *Journal of Range Management* 49:386-400.
- Boyce, M. S. and L. L. McDonald. 1999. Relating populations to habitats using resource selection functions. *Trends in Ecology and Evolution* 14:268-272.
- Brown, J. S. 1992. Patch use under predation risk: 1. Models and predictions. *Annales Zoologici Fennici* 29:301-309.
- Burnham, K. P. and D. R. Anderson. 2002. Model selection and multimodel inference. A practical information-theoretic approach, Springer-Verlag New York, Inc, New York.
- Calenge, C. 2006. The package adehabitat for the R software: a tool for the analysis of space and habitat use by animals. *Ecological Modelling*, 197, 516-519.
- Cardillo, M., G. M. Mace, K. E. Jones, J. Bielby, O. R. P. Bininda-Emonds, W. Sechrest, C. D. L. Orme, and A. Purvis. 2005. Multiple causes of high extinction risk in large mammal species. *Science* 309:1239-1241.
- Ciofalo, I. 1998. Rapport final de mission du Projet d'Utilisation des Ressources Naturelles de Kouré et du Dallol Bosso Nord. PURNKO report, Niamey, Niger.
- Ciofalo, I. and Y. Le Pendu. 2002. The feeding behaviour of giraffe in Niger. *Mammalia* 66:183-194.
- Dagg, A. I. and J. B. Foster. 1976. The giraffe: its biology, behavior, and reproduction. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Decalo, S. 1979. Historical Dictionary of Niger. Scarecrow Press: Metuchen. NJ – London.
- Donati, G. and S. M. Borgognini-Tarli. 2006. Influence of abiotic factors on cathemeral activity: The case of *Eulemur fulvus collaris* in the littoral forest of Madagascar. *Folia Primatologica* 77:104-122.
- Ehlers, J.D. 1997. Cowpea (*Vigna unguiculata*). *Field Crops Research* 53 : 187–204.
- Erkert, H. G. and P. M. Kappeler. 2004. Arrived in the light: diel and seasonal activity patterns in wild Verreaux's sifakas (*Propithecus v. verreauxi*; Primates : Indriidae). *Behavioral Ecology and Sociobiology* 57:174-186.
- Fahrig, L. 1992. Relative importance of spatial and temporal scales in a patchy environment. *Theoretical Population Biology* 41:300-314.

- Fennessy, J. 2004. Ecology of desert-dwelling giraffe, *Giraffa camelopardalis angolensis*, in northwestern Namibia. PhD thesis, University of Sydney, Sydney, Australia.
- Fortin, D., J. M. Fryxell, and R. Pilote. 2002. The temporal scale of foraging decisions in bison. *Ecology* 83:970-982.
- Frid, A. and L. Dill. 2002. Human-caused disturbance stimuli as a form of predation risk. *Conservation Ecology* 6.
- Fritz, H. and A. Loison. 2006. Large Herbivores across biomes. Large herbivore ecology, ecosystem dynamics and conservation. Cambridge University Press, Cambridge, UK 19-49.
- Fryxell, J. M. 1991. Forage quality and aggregation by large herbivores. *American Naturalist* 138:478-498.
- Gaillard, J. M., M. Hebblewhite, A. Loison, M. Fuller, R. Powell, M. Basille, and B. Van Moorter. 2010. Habitat-performance relationships: finding the right metric at a given spatial scale. *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences* 365:2255-2265.
- Gillies, C. S., M. Hebblewhite, S. E. Nielsen, M. A. Krawchuk, C. L. Aldridge, J. L. Frair, D. J. Saher, C. E. Stevens, and C. L. Jerde. 2006. Application of random effects to the study of resource selection by animals. *Journal of Animal Ecology* 75:887-898.
- Hebblewhite, M. and E. Merrill. 2008. Modelling wildlife-human relationships for social species with mixed-effects resource selection models. *Journal of Applied Ecology* 45:834-844.
- Johnson, D. H. 1980. The Comparison of Usage and Availability Measurements for Evaluating Resource Preference. *Ecology* 61:65-71.
- Laver, P. N. and M. J. Kelly. 2008. A critical review of home range studies. *Journal of Wildlife Management* 72:290-298.
- Leroy et al. R., M. N. de Visscher, O. Halidou, and A. Boureima. 2009. The last African white giraffes live in farmers' fields. *Biodiversity and Conservation* 18:2663-2677.
- Levin, S. A. 1992. the problem of pattern and scale in ecology. *Ecology* 73:1943-1967.
- Lima, S. L. and P. A. Bednekoff. 1999. Temporal variation in danger drives antipredator behavior: The predation risk allocation hypothesis. *American Naturalist* 153:649-659.
- MacArthur, R. H. and E. R. Pianka. 1966. On the optimal use of a patchy environment. *American Naturalist* 100:344-365.
- Manly, B. F. J. 1993. Comments on design and analysis of multiple-choice feeding-preference experiments *Oecologia* 93:149-152.

- Mayor, S. J., J. A. Schaefer, D. C. Schneider, and S. P. Mahoney. 2009. The spatial structure of habitat selection: A caribou's-eye-view. *Acta Oecologica-International Journal of Ecology* 35:253-260.
- Morgan, S. 2010. Black rhinoceros (*Diceros bicornis*) habitat selection and movement analysis. PhD thesis. Westville, South Africa.
- Morou, B. 2010. Impacts de l'occupation des sols sur l'habitat de la girafe au Niger et enjeux pour la sauvegarde du dernier troupeau de girafes de l'Afrique de l'Ouest. PhD thesis. Niamey, Niger.
- Pellew, R. A. 1984. The feeding ecology of a selective browser, the giraffe (*Giraffa camelopardalis tippelskirchi*). *Journal of Zoology* 202:57-81.
- R Development Core Team. 2011. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Rettie, W. J. and F. Messier. 2000. Hierarchical habitat selection by woodland caribou: its relationship to limiting factors. *Ecography* 23:466-478.
- Sih, A., R. Ziemba, and K. C. Harding. 2000. New insights on how temporal variation in predation risk shapes prey behavior. *Trends in Ecology and Evolution* 15:3-4.
- Tobler, I. and B. Schwierin. 1996. Behavioural sleep in the giraffe (*Giraffa camelopardalis*) in a zoological garden. *Journal of Sleep Research* 5:21-32.
- Toudou, A. and O. Cosal. 1987. Les micro-organismes pathogènes du niébé *Vigna unguiculata* au Niger. *Les légumineuses alimentaires en Afrique, Niamey, Niger* 79-86.
- Vaida, F. and S. Blanchard. 2005. Conditional Akaike information for mixed-effects models. *Biometrika* 92:351-370.
- Wiens, J. A. 1989. Spatial sacling in ecology. *Functional Ecology* 3:385-397.

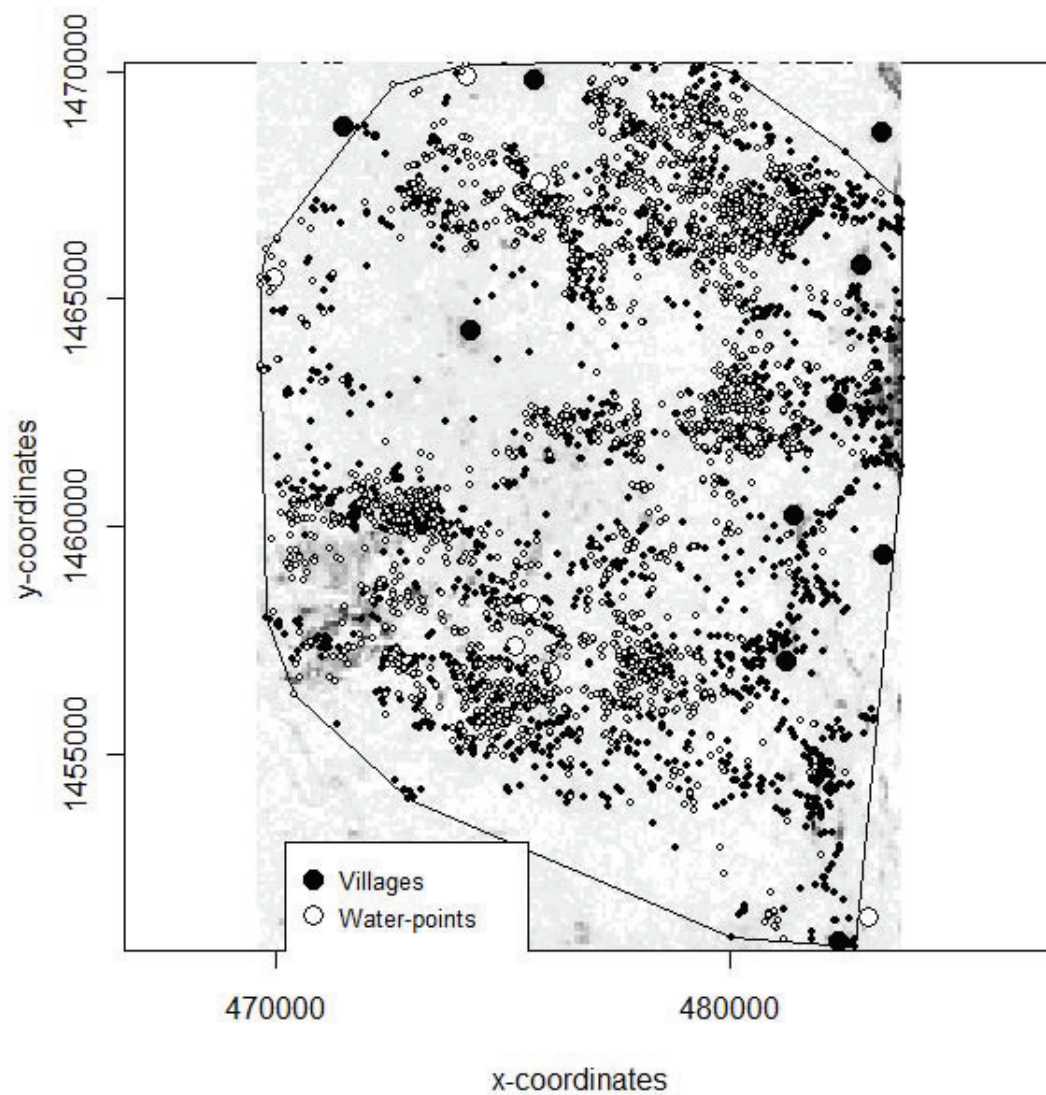


Figure 18 Localization map of the collared giraffe. Small black points are diurnal localizations; small black points are giraffe nocturnal localizations. Big black points are main villages; big white points are water-points

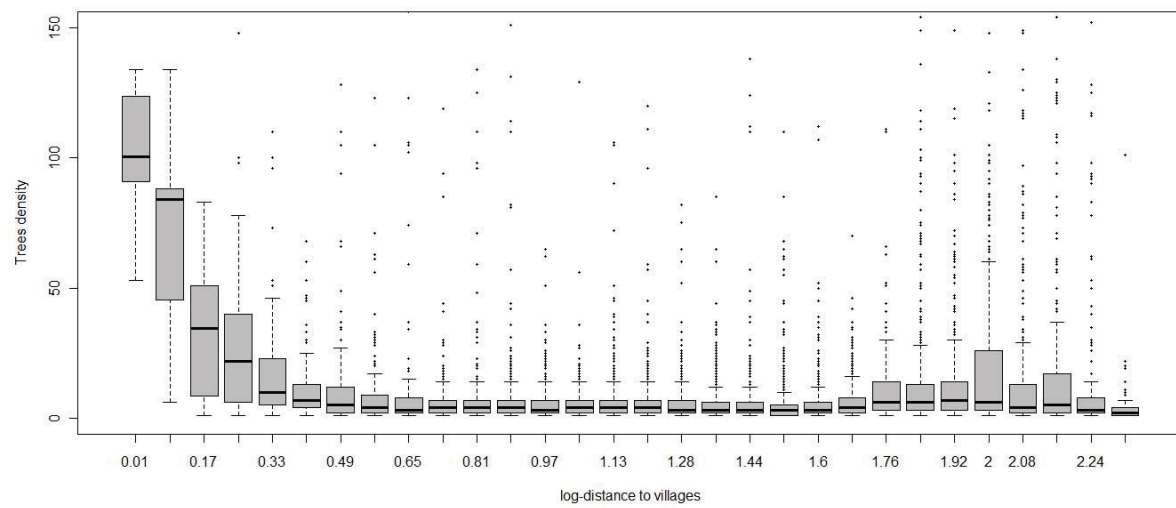


Figure 19 Boxplot of the tree density in relation to log-distance to villages

Tableau 12 Selection of Resource Selection Function (generalised linear models with mixed effects) predicting the habitat selection of 6 females giraffes at the home range scale with the tree log-density (tree), the log-distance to villages (village) and to water points (water), according to the day period (period: day or night). The model selection was performed according to the Corrected Akaike Information Criteria (*AICc*). d = number of parameter (random effect included), Δ_i = difference of *AICc* with the best model

model	parameters	AICc	delta
tree+village+water+period+village:water+tree:period+village:period	16	21101.56	0.000000
tree+village+water+period+village:water+village:period	15	21102.05	0.489919
tree+village+water+period+village:water+tree:period+village:period+water:period	17	21103.42	1.861584
tree+village+water+period+village:water+village:period+water:period	16	21103.84	2.280569
water+village+period+water:village+village:period	14	21110.79	9.238755
water+village+period+water:village+water:period+village:period	15	21112.59	11.038537
tree+village+period+tree:period+village:period	14	21120.13	18.571117
tree+village+period+village:period	13	21120.46	18.901478
tree+village+water+period+tree:period+village:period	15	21122.09	20.531462
tree+village+water+period+village:period	14	21122.42	20.861612
tree+village+water+period+tree:period+village:period+water:period	16	21123.96	22.406813
tree+village+water+period+water:period+village:period	15	21124.35	22.791572
village+period+village:period	12	21128.98	27.422748
water+village+period+village:period	13	21130.93	29.371570
water+village+period+water:period+village:period	14	21132.85	31.297813
tree+village+water+period+village:water+water:period	15	21202.51	100.958015
tree+village+water+period+village:water+tree:period+water:period	16	21203.61	102.058874
water+village+period+water:village+water:period	14	21211.70	110.142017
tree+village+water+period+water:period	14	21219.92	118.362614
tree+village+water+period+tree:period+water:period	15	21221.03	119.477045
tree+water+period+water:period	13	21221.98	120.421238
tree+water+period+tree:period+water:period	14	21223.10	121.541054
tree+village+water+period+village:water+tree:period	15	21223.52	121.966722
tree+village+water+village:water	13	21223.75	122.192052
water+period+water:period	12	21227.96	126.407391
water+village+period+water:period	13	21228.86	127.301455
water+village+water:village	12	21232.94	131.382593
tree+village+period+tree:period	13	21236.21	134.651698
tree+village	11	21236.34	134.788783
tree+village+water+period+tree:period	14	21238.17	136.609554
tree+village+water	12	21238.30	136.746633
tree+period+tree:period	12	21239.23	137.675166
tree	10	21239.36	137.802083
tree+water+period+tree:period	13	21240.24	138.684491
tree+water	11	21240.37	138.814915
NA+(Intercept)	9	21244.53	142.970008
village	10	21245.31	143.755811
water	10	21246.42	144.862454
water+village	11	21247.27	145.718968

Tableau 13 Selection of Resource Selection Function (generalised linear models with mixed effects) predicting the habitat selection of 6 females giraffes at the location scale with the tree log-density (tree), the log-distance to villages (village) and to water points (water), according to the day period (period: day or night). The model selection was performed according to the Corrected Akaike Information Criteria (*AICc*). d = number of parameter (random effect included), Δ_i = difference of *AICc* with the best model,

model	parameters	AICc	delta
tree+village+water+period+village:water+tree:period+village:period	16	23255.55	0.00000
tree+village+water+period+village:water+village:period	15	23261.09	5.54123
tree+village+water+period+village:water+tree:period+village:period+water:period	17	23262.81	7.26655
tree+village+water+period+village:water+village:period+water:period	16	23263.08	7.52873
water+village+period+water:village+village:period	14	23266.65	11.10054
water+village+period+water:village+water:period+village:period	15	23268.64	13.08971
tree+village+period+tree:period+village:period	14	23301.01	45.46355
tree+village+period+village:period	13	23301.08	45.53092
tree+village+water+period+tree:period+village:period	15	23302.86	47.31437
tree+village+water+period+village:period	14	23302.93	47.38277
tree+village+water+period+tree:period+village:period+water:period	16	23304.07	48.52391
tree+village+water+period+water:period+village:period	15	23304.34	48.79108
village+period+village:period	12	23307.71	52.16034
water+village+period+village:period	13	23307.79	52.23962
water+village+period+water:period+village:period	14	23309.18	53.63740
tree+village+water+period+village:water+water:period	15	23379.81	124.25844
tree+village+water+period+village:water+tree:period+water:period	16	23381.22	125.67557
water+village+period+water:village+water:period	14	23385.98	130.43118
tree+village+water+period+village:water+tree:period	15	23403.77	148.22328
tree+village+water+village:water	13	23404.82	149.27125
water+village+water:village	12	23411.03	155.48259
tree+village+water+period+water:period	14	23419.47	163.91847
tree+village+water+period+tree:period+water:period	15	23420.90	165.35796
water+period+water:period	12	23424.77	169.22456
tree+water+period+water:period	13	23424.97	169.41864
water+village+period+water:period	13	23425.36	169.81020
tree+water+period+tree:period+water:period	14	23425.63	170.07853
tree+village+period+tree:period	13	23438.46	182.91401
tree+village	11	23439.25	183.69914
tree+village+water+period+tree:period	14	23440.32	184.77580
tree+village+water	12	23441.11	185.56010
tree+period+tree:period	12	23443.37	187.82655
tree	10	23444.97	189.42008
tree+water+period+tree:period	13	23445.10	189.54853
NA+(Intercept)	9	23445.50	189.95331
tree+water	11	23446.63	191.08619
village	10	23446.89	191.34745
water	10	23447.00	191.45026
water+village	11	23447.06	191.51486

Tableau 14 Coefficients of best Resource selection Functions (generalised linear models with mixed effects) predicting the habitat selection of 6 females giraffes at the home range and the location scale. Variables used are the tree log-density (tree), the log-distance to villages (village) and to water points (water), and the day period (period: day or night).

Coefficient			
	t	Estimate	Std. Error
Home	(Intercept)	-3.20424	0.77560
range	Arb	0.27693	0.05119
scale	Vil	0.81731	0.35455
	Eau	-0.81536	0.63418
	jnN	1.74840	0.21194
	vil:eau	0.48103	0.11473
	vil:jnN	-1.01169	0.09243
Location	(Intercept)	-2.42685	0.28687
scale	Arb	0.19985	0.05803
	Vil	0.15814	0.20624
	Eau	-0.99237	0.31289
	jnN	1.83910	0.19799
	vil:eau	0.77507	0.10977
	arb:jnN	0.04514	0.02969
	vil:jnN	-1.12923	0.09283

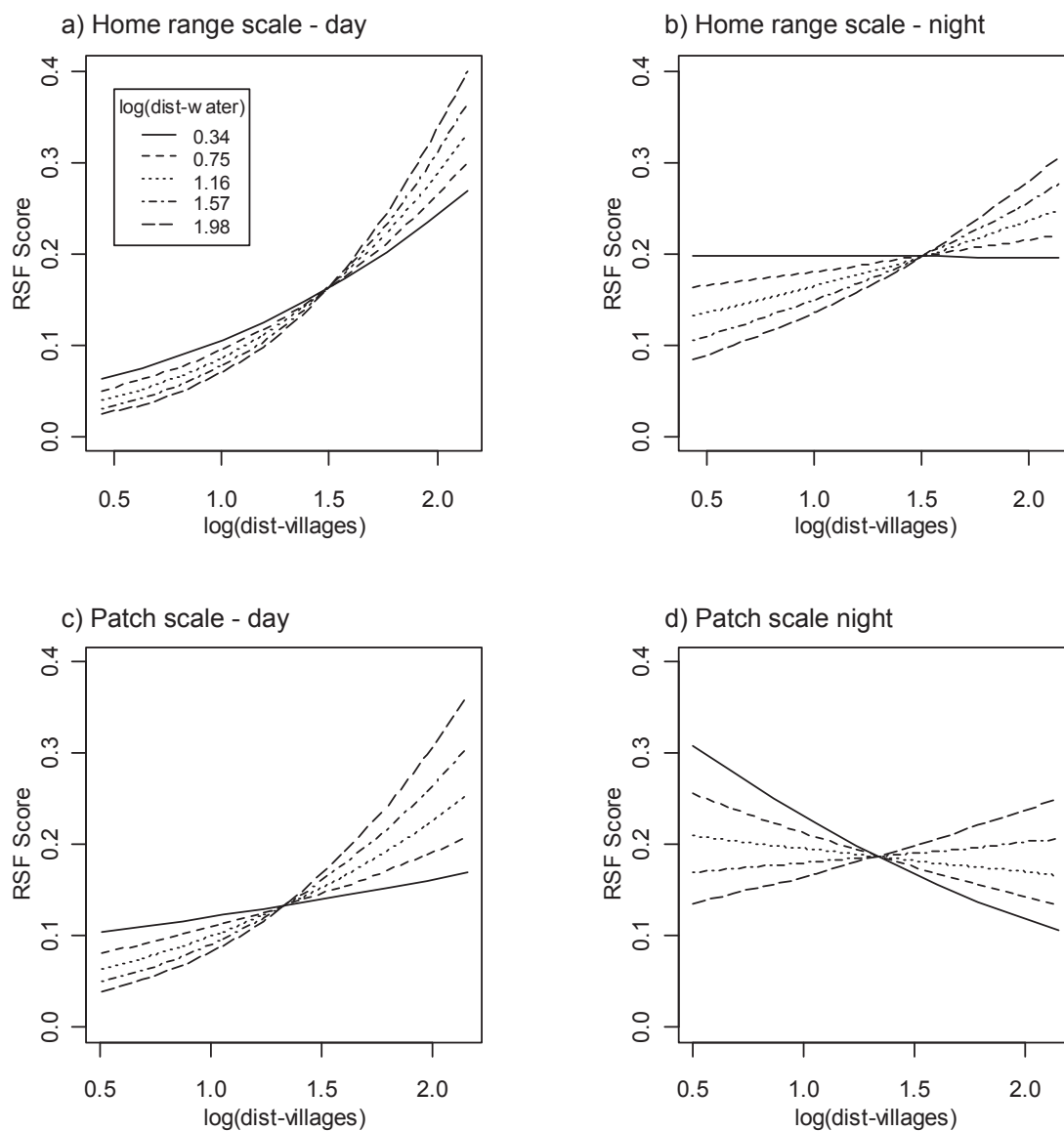


Figure 20 Predicted Resource Selection Function score (generalised linear models with mixed effects) at the home range and the location scale according to the log-distance to villages and the log-distance to water.

Conclusion sur la partie

L'analyse des données des colliers émetteurs girafes, grâce à une Ressource Sélection Function, montre qu'en saison sèche la sélection d'habitat des girafes est fortement conditionnée par la densité d'arbres et par les perturbations d'origine humaines qui conduisent les girafes à éviter les points d'eau et les villages le jour. Comme attendu, on observe une sélection pour les fortes densités d'arbre le jour et la nuit. Le jour, les girafes évitent les points d'eau et les villages. De façon surprenante, les girafes sont non seulement plus tolérantes aux villages la nuit, mais elles sont même attirées par eux, d'autant plus quand les villages sont proches des points d'eau. Cette sélection s'explique sans doute par de fortes densités d'arbres dans et autour des villages, et la présence d'autres ressources clés comme les greniers renfermant les récoltes de haricot. Ceci confirme le changement progressif des girafes vers une alimentation d'origine humaine, et peut expliquer l'augmentation des conflits humains-girafes.

Partie V

Discussion générale



A. Rappel des acquis de ce travail

1. Rappel du contexte

Au début du XXème siècle, les girafes *peralta* avaient une aire de distribution couvrant la plupart des pays d'Afrique de l'Ouest (e.g. des côtes du Sénégal jusqu'au Niger). La destruction de l'habitat, et surtout la chasse (braconnage) ont conduit à une réduction drastique de l'aire de distribution de ces girafes, et de leur effectif. En 1996, la population ne survit plus qu'au Niger. Depuis, elle montre des signes de rétablissement, en passant de 50 individus en 1996, à plus de 200 en 2009. Uniques représentantes de la sous-espèce *peralta*, les girafes d'Afrique de l'Ouest sont les seules des neuf sous-espèces de girafes à être inscrites en 2008 sur la liste rouge de l'UICN des espèces menacées, avec le statut « en danger » (Fennesy & Brown, 2008).

2. Rappel des principaux résultats

a. Analyse des comptages, et analyse démographique

• Taux de croissance et survie

L'analyse des résultats des comptages par photo identification montre que, depuis 1996, la population a eu une croissance très rapide. Après avoir subi une pression de braconnage intense, la population était composée d'une forte proportion de femelles adultes gestantes en 1996. L'arrêt brutal du braconnage, et cette structure particulière de population ont permis d'observer un taux de croissance exceptionnel de 19% entre 1996 et 1999 dans cette petite population. Les résultats des comptages, et l'analyse démographique à partir des données de Capture Marquage Recapture (CMR) montrent que de 2005 à 2008 le taux de croissance de la population était d'environ 12%. Ce taux correspond au taux de croissance maximum théorique calculé pour un browser, basé sur la relation allométrique reliant taux de croissance et masse corporelle (Gaillard et al. 2008).

Ces résultats sont très encourageants. Un succès reproducteur élevé : 0.257 en moyenne de 2005 à 2008, calculé en nombre de femelles produites par femelles (Caswell, 2000), et un taux de survie annuel élevé (0.94 chez les femelles adultes et sub adultes; et un taux de 1 chez les juvéniles) expliquent la forte croissance de la population des girafes depuis 1996. De plus, l'intervalle entre deux mises bas est court chez quasiment toutes les femelles adultes. Ceci tend à confirmer des conditions environnementales favorables. Les facteurs qui ont permis une telle croissance chez cette petite population sont principalement (i) l'absence de

prédation, (ii) une mortalité anthropogénique limitée, (iii) et des ressources apparemment en quantité et qualité satisfaisantes.

Les paramètres démographiques calculés sont en accord avec ceux attendus chez un grand herbivore longévive (Gaillard et al. 2000). En particulier, on observe une faible élasticité à la survie juvénile et une forte élasticité à la survie adulte. Le temps de génération, une mesure de la vitesse des histoires de vie (Gaillard et al. 2005), calculé à partir de nos données est de 9.6 ans. Ce chiffre est très proche du résultat attendu pour un browser de cette masse (10 ans, Gaillard et al. 2008).

La population est composée de 50% de plus de femelles adultes que des mâles adultes, malgré un sex ratio à la naissance équilibré, et même légèrement en faveur des mâles. Cette structure de la population est sans doute liée à une survie différentielle mâle/ femelle. Ce résultat est attendu chez cette espèce fortement dimorphique, et s'explique en particulier par une forte compétition entre les mâles pour l'accès aux femelles qui se traduit notamment par des combats sans doute couteux (Simmons & Shippers, 1996). Dans des cas extrêmes, chez la girafe, ces combats peuvent aboutir à la mort d'un des mâles (obs. pers.). Chez une espèce polygyne, la survie inférieure des mâles adultes n'a pas un impact majeur sur la dynamique de la population (Caswell, 2001).

• 2009, l'année du changement ?

De 2005 à 2008 presque toutes les girafes étaient revues d'un comptage à l'autre. Ceci s'explique par des comptages quasiment exhaustifs (97% de recapture en moyenne), et des taux de survie proches de 1. De façon surprenante, en 2009, le nombre de girafes recensées était inférieur à celui de l'année précédente. Parmi les 193 girafes comptées en 2008, 38 n'ont pas été revues en 2009 (soit proportionnellement plus de trois fois plus que les années précédentes). La grande majorité de ces girafes « disparues » ont été revues pendant le suivi 2010. Ces girafes non revues en 2009 avaient sans doute quitté les zones de comptage. Le phénomène concerne toutes les classes d'âge et de sexe, mais on note que les mâles adultes et sub adultes sont particulièrement représentés. L'hypothèse avancée pour expliquer le départ des girafes des zones de comptage en 2009, est une saturation progressive de l'habitat qui agit en premier lieu sur la distribution et la dispersion des girafes, plutôt que sur les paramètres démographiques (e.g. recrutement). La saturation de l'habitat peut trouver deux origines principales : (i) diminution de la ressource/individu menant à une forte compétition intra-spécifique, et/ou (ii) une forte perturbation humaine dans un contexte de cohabitation humains-girafes de plus en plus conflictuel (Leroy et al. 2009; Morou, 2010). D'autre part,

l'excès de mâles qui ont quitté les zones de comptage peut s'apparenter à de la dispersion, dont les causes pourraient être liées à une augmentation du niveau de compétition intra-mâle en parallèle à l'augmentation de la densité de girafes. L'étude de la distribution spatiale des girafes à l'échelle de la population, du troupeau, et de l'individu a permis de mieux comprendre quelles étaient les ressources clés et les facteurs déterminants leur accessibilité.

b. Distribution des girafes

• A l'échelle de la population

Dans le cœur de la zone girafes, on observe des migrations saisonnières de la population. En saison des pluies, les girafes se situent sur le plateau de Kouré (91% des observations). En saison sèche, les girafes migrent dans la Zone Intermédiaire / le Dallol Bosso Nord (85% des observations). Les girafes semblent ajuster leur distribution spatiale en fonction de la quantité et la qualité des ressources. En effet, en saison des pluies, les girafes se nourrissent essentiellement des feuilles d'arbustes de la brousse tigrée du plateau de Kouré. La brousse tigrée en saison des pluies représente une ressource abondante et de bonne qualité. En saison sèche, une part importante de l'alimentation des girafes est composée de feuilles des arbres situés dans la Zone Intermédiaire / le Dallol Bosso Nord, en particulier de *Faidherbia albida*. Cette espèce présente une phénologie inversée car elle garde ses feuilles en saison sèche et les perd en saison des pluies. Il s'agit donc d'une ressource de bonne qualité en saison sèche. Ainsi, à l'échelle de la population, la distribution saisonnière des girafes est en lien avec la saisonnalité de la pluie qui agit sur la phénologie des espèces consommées. De façon intéressante, dans la zone nouvellement colonisée de Fandou, le même type de migrations est observé. Les girafes sont dans la brousse tigrée en saison des pluies, et migrent dans une zone sableuse dominée par les *Faidherbia albida* en saison sèche. Ces migrations en fonction de la disponibilité et la phénologie des plantes ne sont pas surprenantes chez une espèce comme la girafe qui a de fortes contraintes intrinsèques de par sa masse (besoin de ressource alimentaire en grande quantité), et sa sélectivité (browser qui consomme environ 85% de feuilles, Ciofolo, 1998).

• A l'échelle du troupeau

Pendant la saison des pluies, les troupeaux sont plus grands que pendant la saison sèche. Si on considère la saison des pluies, plus la brousse tigrée est dense (habitat des girafes en cette saison), plus les troupeaux sont fréquemment observés, et plus les troupeaux sont grands. Cependant, dans la brousse tigrée la plus dense, moins de troupeaux ont été observés, mais

ceci était sans doute à cause d'un biais méthodologique lié à la visibilité. Par ailleurs, on observait bien des troupeaux de grandes tailles dans la brousse tigrée dense. Le patron de taille des troupeaux qui augmente avec la densité de la végétation va à l'encontre de ce qui est attendu chez les ongulés. En effet, il est attendu que les troupeaux soient plus grands dans les habitats ouverts et plus petits dans les habitats denses, en réponse à la prédation (Jarman, 1974). Ici, les girafes ne sont pas soumises à la prédation. La taille et la distribution des troupeaux semblent essentiellement contraintes par la ressource et la compétition intra spécifique qui en résulte.

- **A l'échelle individuelle**

Pour mieux appréhender les contraintes associées à ce patron apparent de changement de relation entre la girafe et son habitat, il est nécessaire de comprendre la relation entre la girafe et deux éléments de son environnement : les habitats (ressources clés), et les hommes (source de perturbation). Nous avons testé l'influence de ces facteurs à travers l'effet de la densité d'arbres, la distance aux villages, et la distance aux points d'eau, sur la sélection d'habitat des girafes à l'échelle du domaine vital et à l'échelle du patch d'alimentation. Cette étude novatrice de sélection d'habitat montre pour la première fois que les girafes sont non seulement actives la nuit, mais aussi que leur domaine vital est plus grand la nuit que le jour, le domaine vital de jour étant inclus dans le domaine vital de nuit. De plus, la sélection de l'habitat des girafes est différente le jour et la nuit. A l'échelle du domaine vital et de la localisation (1ha.), les patrons de sélection sont très proches. Quelle que soit l'échelle, les girafes sélectionnent les fortes densités d'arbres. Seule différence de sélection entre les deux échelles, à l'échelle de la localisation, cette sélection pour les fortes densités d'arbres est encore plus marquée la nuit. Le jour, les girafes évitent les points d'eau et les villages. Durant la journée, les perturbations humaines semblent conditionner les déplacements des girafes. En saison sèche, les humains et leur bétail ont de grands besoins en eau dans un pays Sahélien comme le Niger. Un fort dérangement autour des points d'eau la journée expliquerait l'évitement des points d'eau par les girafes. Le dérangement humain dans et autour des villages peut expliquer facilement l'évitement des villages le jour.

De façon surprenante, la nuit, les girafes sont non seulement plus tolérantes aux villages, mais elles sont même attirées par les villages, et ceci, d'autant plus que les villages sont proches des points d'eau. Les villages le long des Dallols concentrent les ressources clés pour les girafes : autour des villages, la densité d'arbres est très forte. De plus, nos analyses montrent que certaines girafes font des raids nocturnes dans les greniers situés autour des villages. Ceci

n'a jamais été observé auparavant, mais est en bon accord avec les plaintes croissantes des villageois qui accusent les girafes de manger leur récolte. Il s'agit en particulier du haricot. Le mil et le sorgho, la base de l'alimentation des villageois ne sont pas concernés. Enfin, le bas-fond du Dallol est riche en sel minéraux (natron) et peut être aussi attractif pour les girafes, en particulier pour une femelle allaitante.

Nous l'avons vu, la girafe est un méga-herbivore qui non seulement a d'importants besoins alimentaires, mais qui de plus est sélective. Les girafes de notre échantillon étaient toutes des femelles adultes allaitantes (présence de girafons de 4 à 6 mois). Leur besoin en ressources alimentaires, en particulier de bonne qualité pour supporter le coût énergétique de la lactation, est donc particulièrement élevé. L'évitement des points d'eau le jour est cohérent avec des études précédentes dans lesquelles les girafes ne sont quasiment jamais observées en train de boire. Toutes ces études ont lieu le jour. Notre étude montre aussi que la nuit les girafes boivent aux points d'eau quand le dérangement humain est moindre, mais ceci reste un comportement rare. La sélection des girafes pour les feuilles les plus jeunes, à forte teneur en eau, pourrait expliquer cette indépendance, au moins partielle, vis-à-vis des points d'eau.

La sélection de l'habitat des girafes en saison sèche est fortement conditionnée par la densité d'arbres et par les perturbations d'origine humaines qui conduisent les girafes à éviter les points d'eau et les villages le jour. A l'inverse elles sont attirées par les villages la nuit, d'autant plus si ces derniers sont proches des points d'eau. La nuit, la perturbation humaine est moindre. Les villages concentrent des ressources clés pour les girafes: des ressources en grande quantité (forte densité d'arbres), des ressources de bonne qualité (haricot dans les greniers), des sels minéraux (natron dans le bas-fond du Dallol), et des ressources en eau. Ces constations expliquent aussi la croissance des conflits humains-girafes. Nos résultats montrent l'importance de prendre en compte les activités humaines, et la perception sociale des girafes, dans l'élaboration d'une stratégie de conservation.

B. La situation des girafes aujourd'hui

1. Statut de conservation.

A l'échelle de l'Afrique, la tendance globale de disparition des girafes s'est accentuée ces 10 dernières années, et la population a été réduite quasiment de moitié. Avec environ 80,000 individus, l'espèce girafe répond aux critères de la catégorie « Near threatened » dans la Liste rouge de l'UICN (UICN, 2011). Quant aux girafes d'Afrique de l'Ouest, elles sont inscrites depuis 2008 dans la Liste rouge, avec le statut « En Danger » (Fennessy & Brown, 2008). En 2010, elles ont été rejointes dans cette catégorie par une deuxième sous-espèce de girafes : la sous-espèce *rothschildi* (Fennessy & Brown, 2010). L'effectif de cette sous-espèce était alors d'environ 670 individus, et il avait subi une très forte décroissance ces 10 dernières années. Jusqu'à présent le taux de croissance maximum chez des girafes concernait la population du Serengeti, (taux de croissance de 6%, Pellew, 1983). Dans cette population soumise à la prédation (essentiellement par les lions), la mortalité des juvéniles atteignait 60% la première année. La mortalité adulte était estimée de 5 à 10%. Notre étude montre que chez cette espèce longévive, une variation donnée de survie après l'âge d'un an aurait neuf fois plus d'impact que la même variation de survie juvénile. Dans ces conditions, même si plus de la moitié des juvéniles ne survivait pas la première année au Serengeti, la forte survie adulte et une reproduction régulière a permis d'atteindre le plus fort taux de croissance jusqu'alors observé. En Afrique de l'Ouest, depuis 1996, on observe une croissance exponentielle de la population de girafes, avec un taux de croissance environ deux fois plus élevé à celle de girafes du Serengeti dans les années 80. A la différence du Serengeti, les girafes d'Afrique de l'Ouest vivent dans une zone sans prédateur, et le braconnage est quasiment nul depuis 1996. Ainsi les trois facteurs les plus évidents pour expliquer le taux de croissance très élevé depuis 1996 sont : (i) l'absence de prédation, (ii) une mortalité anthropogénique limitée, (iii) et des ressources apparemment en quantité et qualité satisfaisantes. En plus de ces facteurs, on peut légitimement se demander dans quelle mesure (iv) la consommation de haricot a participé à ce taux de croissance exceptionnel observé ces dernières années ? En effet, notre étude basée sur l'analyse des données GPS de femelles adultes allaitantes montre que certaines girafes font des raids nocturnes dans les greniers des villageois qui entreposent les récoltes, dont le niébé. De nombreuses observations pendant le suivi girafes, et les plaintes croissantes des villageois (Leroy, 2009 ; Morou, 2010) montrent que les girafes consomment les haricots soit directement dans les champs, soit dans les greniers une fois récoltés. Ce comportement est

surprenant car le niébe pousse au sol, et la girafe est un browser quasi strict. D'un autre côté, la girafe a une alimentation sélective et des besoins énergétiques élevés, en particulier chez une femelle allaitante. Le haricot représente une source de nourriture de haute qualité qui contient en grande quantité des vitamines, protéines et minéraux (Ehlers, 1997). En Uganda, certains éléphants de forêt ont adapté leur alimentation en s'attaquant aux cultures humaines. En particulier, les éléphants complètent leur besoins en sodium dont les taux sont élevés dans les cultures humaines. Ainsi, les champs conditionnent les patrons de déplacement de certains éléphants (Rode et al. 2006). Tout comme la girafe, les éléphants ont des besoins alimentaires élevés et se nourrissent aussi bien le jour et la nuit. Les attaques sur les cultures des éléphants ont toujours lieu la nuit (Graham et al. 2009). Cette stratégie alimentaire est risquée car les éléphants, qui peuvent occasionner d'importants dégâts, sont parfois blessés et même tués par les villageois ou les autorités (Obanda et al. 2008). Le bénéfice de cette tactique alimentaire se traduit en termes de masse, car les mâles éléphants observés en train de se nourrir dans les champs ont en moyenne une masse corporelle plus élevée que ceux qui ne se risquent pas dans les champs (Chiyo et al. 2011). Bien qu'il soit difficile de relier masse corporelle et succès reproducteur, chez cette espèce dimorphique, il est suggéré que la masse corporelle soit un avantage pour l'accès à la reproduction. Les conflits humains-éléphants sont croissants, et les dégâts occasionnés peuvent être catastrophiques pour les agriculteurs. Au Zimbabwe, les éléphants sont responsables à eux seuls des $\frac{3}{4}$ des destructions des cultures. Ce changement de l'alimentation des éléphants trouve son origine dans la disparition de l'habitat des éléphants au profit des cultures qui représentent une nourriture de haute qualité (Osborn, 2004).

Nous ignorons quelle part représente la consommation de haricot dans le régime alimentaire de la girafe, mais la consommation de cette nourriture de haute qualité est probablement un élément favorable à la croissance de la population.

Chez les oies arctiques migratrices depuis les années 1950, avec l'intensification de l'agriculture, on observe aussi un changement de l'alimentation vers une alimentation d'origine humaine. Les cultures céréalières consommées par les oies sont très riches d'un point de vue énergétique. En parallèle à ce changement d'alimentation, on observe une croissance de la population et une extension de leur distribution spatiale (Fox et al. 2005). La consommation de cette nourriture de haute qualité a sans doute été à l'origine de l'augmentation de la survie pendant l'hiver grâce à la production de réserves. Chez l'oie rieuse, une fois préservée de la pression de la chasse, on a observé une croissance de la

population. Cette croissance de la population était en moyenne plus rapide où les oies avaient accès à la nourriture de haute qualité que représentent les champs cultivés. Les jeunes produits étaient alors plus nombreux (Fox et al. 2005). Chez l'oie des neiges américaine, la croissance de la population entre les années 1960 et milieu des années 1990 était de 5 à 7% / an. Cette croissance de la population s'explique par une augmentation de la survie suite à l'exploitation des ressources alimentaires d'origine agricole (Abraham et al. 2005).

Chez les girafes d'Afrique de l'Ouest, l'apport énergétique de haute qualité d'origine anthropogénique combiné aux autres facteurs favorables (i.e. pas de prédation, pas de braconnage) ont été à l'origine de conditions idéales pour la survie et la reproduction de 1996 à 2008. Il semble que pendant cette période, le terroir villageois offrait aux girafes des conditions encore meilleures que dans une aire protégée.

Par ailleurs, cette adaptation à un environnement humain pose des problèmes de cohabitation humains – girafes. Malgré le taux de croissance maximal observé ces dernières années, la population reste très fragile, et la sous-espèce *peralta* reste celle qui a le plus petit effectif. Avec une population en croissance, les girafes d'Afrique de l'Ouest passeraient dans la catégorie « Vulnérable » si la population était composée de plus de 250 adultes, soit environ 400 individus. Si on considère la structure de la population en 2008, les taux de survie, et de croissance observés depuis 1996, les girafes d'Afrique de l'Ouest pourraient changer de catégorie en 2015 en dépassant les 400 individus. Compte tenu des menaces croissantes sur les girafes, des signes de saturation de l'habitat dans le cœur de la zone girafes, on peut légitimement s'interroger sur la possibilité réelle de cette population de girafes d'Afrique de l'Ouest à atteindre les 400 individus.

2. Vers une saturation de la zone girafes ?

a. Les signes de la saturation de la zone girafes

On observe des phénomènes de migrations en dehors de la zone centrale qui laisse présager l'atteinte prochaine de la capacité d'accueil dans le cœur de la zone girafe. En effet, depuis les années 1990, une sous population de girafes s'est constituée dans la région de Fandou, à environ 80 km de la zone centrale. La colonisation de cette zone s'est déroulée progressivement. A la fin des années 1990, quelques individus y séjournaient en saison des pluies (Le Pendu & Ciofolo, 1999) puis retournaient dans la zone centrale ; entre 2008 et 2010 des girafes étaient observées toute l'année dans la zone de Fandou. De plus, pour la première

fois en 2009, plus de trente girafes vues en 2008 n'ont pas été revues en 2009. Ces girafes ont vraisemblablement quitté les zones de comptage incluant la zone de Kouré et la zone de Fandou. Un troisième argument en faveur de l'hypothèse d'une saturation est l'observation croissante de girafes parfois à plusieurs centaines de kilomètres en dehors de la zone centrale et de Fandou. Ainsi, des girafes ont été observées à Tillaberry, à l'Ouest de Niamey, où aucune girafe n'avait été observée depuis 20 ans. Enfin des girafes ont traversé la frontière au Nigéria, puis se sont fait abattre, d'autres ont été vues à une trentaine de kilomètres de la frontière malienne. Des migrations longue distance (explorations ?) en dehors de la zone centrale ont déjà été observées à la fin des années 1990, mais leur fréquence semble augmenter ces dernières années.

Les migrations en dehors de la zone centrale, la constitution progressive d'une sous population dans la zone colonisée de Fandou sont autant de signes qui traduisent un début de saturation du cœur de la zone girafes. Nous nous sommes donc interrogés sur les raisons de la dispersion des girafes en dehors de la zone centrale.

b. Atteinte de la capacité d'accueil écologique ?

Nous l'avons vu, les girafes ont d'importantes contraintes alimentaires (manger en grande quantité et sélectivement). Ces contraintes semblent représenter le moteur des déplacements des girafes à l'échelle de la population (e.g. migrations saisonnière en fonction de la saisonnalité de la pluie, et la phénologie des plantes, voir partie 3), du troupeau (e.g. plus grands troupeaux dans les zones de végétation dense), et individuelle (e.g. sélection pour les fortes densités d'arbres le jour et la nuit, voir partie 4). En parallèle à la croissance de la population des girafes, l'habitat des girafes dans le cœur de la zone diminue extrêmement rapidement. Ainsi, la ressource / individu diminue, et la compétition intra-spécifique augmente. De plus, le dérangement humain limite l'accès aux ressources, en particulier la journée autour des points d'eau, et des villages (voir partie 4). Ces éléments participent sans doute à la saturation écologique du cœur de la zone. D'autre part, les accidents avec des véhicules tuent régulièrement des girafes. En effet, le cœur de la zone girafe est traversé par la route n°1 qui relie Niamey à Agadez. Chaque année entre 2005 et 2008, entre 0 et 4 girafes ont été tuées suite à des collisions avec des véhicules (pers. obs.). Ces accidents concernent les mâles et les femelles de toutes classes d'âge. Avec la croissance de la population des girafes et l'augmentation de la mobilité des individus en réponse à la saturation de l'habitat, on peut craindre une augmentation des collisions avec des véhicules dans le futur. En plus

d'impacter négativement sur le taux de croissance de la population des girafes, l'augmentation des collisions peut être un facteur aggravant la mauvaise perception des humains sur les girafes.

c. Atteinte de la capacité d'accueil sociétale ?

Les conflits et la reprise du braconnage sont aussi une menace potentielle importante. De façon inquiétante, en 2009 – 2010, plusieurs girafes ont été blessées, très probablement par des machettes jetées au niveau des pattes (obs.pers). Si les raisons de braconner une girafe sont multiples (chasser pour manger / représailles sur un individu qui détruit des récoltes), blesser une girafe qui n'aboutira à la mort que plusieurs jours / semaines plus tard, ne peut pas traduire une volonté de chasser pour manger. Ce geste traduit plus vraisemblablement une volonté de nuire aux girafes, et / ou une exaspération d'un villageois (e.g. causé par une girafe qui mange dans le champ d'un villageois). Plusieurs cas de girafes blessées ont été observés en 2009 - 2010. Ces girafes étaient des mâles adultes et des femelles adultes. Au moins une femelle adulte est morte de faim après plusieurs semaines d'agonie car elle ne pouvait plus marcher, donc s'alimenter. Dans d'autres cas, les girafes se sont rétablies et les blessures cicatrisées. Les conflits se traduisent par une exaspération croissante des villageois (Leroy, 2009 ; Morou, 2010), et on peut craindre l'atteinte de la capacité d'accueil sociétale, c'est-à-dire que les villageois ne tolèrent plus l'augmentation de la population des girafes, et les dégâts sur les cultures qui en découlent. Si cette saturation sociétale conduit à une reprise massive du braconnage, en particulier sur les adultes, cela peut constituer une menace majeure sur la persistance des girafes.

3. Conclusion

S'il est difficile de déterminer la part relative des causes de dispersion des girafes (diminution de la ressource / dérangement / braconnage) il est évident que dans ce contexte de cohabitation humains–girafes, les humains qui vivent au contact des girafes sont les garants de la survie des girafes en Afrique de l'Ouest. Dès lors, une bonne perception des villageois vis-à-vis des girafes est cruciale. En effet, une reprise du braconnage pourrait conduire à l'extinction très rapide des girafes. Nous l'avons vu, l'élasticité à la survie adulte est élevée chez les girafes. Le braconnage, dirigé sur les adultes aurait des conséquences dramatique sur la dynamique de la population, en particulier si elle touche les femelles adultes. De plus, les girafes d'Afrique de l'Ouest sont « habituées » à la présence humaine, et ont des distances de

fuites très réduites. En conséquence, abattre une girafe de cette population est particulièrement aisé.

Aujourd'hui la saturation écologique et/ou sociétale conduit les girafes à disperser en dehors du cœur de la zone girafes. Les paramètres démographiques ne sont pour l'instant quasiment pas impactés, puisque les taux de survie quelle que soit la classe d'âge sont très élevés. Il est donc nécessaire de poursuivre une surveillance précise des paramètres démographiques, de la distribution des girafes, et de continuer à observer les paramètres qui affinaient l'analyse de l'hypothèse de la capacité d'accueil sociétale.

De plus, la dispersion des girafes a aussi potentiellement un impact sur la dynamique de la population, car les girafes ont une plus grande probabilité de se faire braconner en dehors du cœur de la zone girafe, en particulier si elles traversent la frontière malienne ou nigériane. Ainsi, l'augmentation de la dispersion des girafes en quête d'habitats plus favorables (e.g. plus de ressource, moins de dérangement) peut influencer négativement sur le taux de croissance de la population. Plusieurs scénarios peuvent être envisagés. Si le taux de dispersion est supérieure à la production dans le cœur de la zone girafe, et que les dispersants meurent (e.g. après avoir traversé la frontière), la population de girafes sera en décroissance. Si les dispersants meurent avec un taux qui compense la production dans le cœur de la zone girafes, la taille de la population sera conditionnée par la capacité d'accueil du cœur de la zone girafes. Dans ces conditions, la population sera alors stable, si la capacité d'accueil est constante dans le cœur de la zone girafes. Or cette capacité d'accueil semble diminuer (e.g. destruction de l'habitat). Enfin, si les girafes dispersent en masse du cœur de la zone girafes (e.g. en réponse à dérangement trop important), il existe un réel danger pour la population car les conditions de survie en dehors de la zone girafes ne sont pour l'instant pas assurées. Il est donc nécessaire de maintenir des conditions favorables à la population de girafes dans le cœur de la zone girafes, et aussi trouver des zones refuges pour compenser la diminution de la capacité d'accueil du cœur de la zone girafes.

C. Enjeux aujourd'hui pour sécuriser le futur des girafes

1. S'assurer que la zone girafes soit toujours une zone clé

Malgré la dispersion observée en dehors de la zone girafes, on observe des conditions favorables aux girafes. D'autre part, le cœur de la zone girafe est la zone où vit environ 85% - 90% de la population des girafes d'Afrique de l'Ouest. Ainsi, il apparaît clair que cette zone

est capitale pour la survie des girafes. Malgré des signes de saturation écologique et sociétale, la croissance de la population est élevée. Des efforts de conservation ciblés sur cette zone clé sont facilités par sa taille relativement restreinte. C'est par ailleurs dans cette zone que les programmes de conservation interviennent. Les villageois de la zone sont sensibilisés à la problématique girafe grâce à l'intervention de projets comme le PURNKO ou l'ASGN. De façon complémentaire, des programmes de développement locaux, en lien avec la présence des girafes interviennent (e.g. construction de puits, micro crédits), et constituent des bénéfices indirects de la présence des girafes. Malgré les conflits humains girafes croissants (e.g. augmentation des destructions des girafes sur les récoltes), l'intervention des projets de conservation des girafes, ayant compris le rôle central des humains dans ce système, participent à l'amélioration de la vision des villageois vis-à-vis des girafes. Ainsi, dans la zone girafe, le panel de perception des villageois vis-à-vis de la girafe est large : certains bénéficiaires d'actions de développement (e.g. de micro crédits) sont heureux de la présence des girafes (obs. pers.). En effet, en parallèle des activités de développement, des séances d'explications en assemblée villageoise par des animateurs des projets font le lien entre les activités de développement et la présence des girafes. Ainsi, les programmes de conservation des girafes instaurent un terreau plus favorable à la conservation des girafes dans le cœur de la zone, en améliorant la perception des villageois vis-à-vis des girafes. A l'inverse, certains villageois ne voient la girafe que comme une contrainte (Leroy, 2009; Morou, 2010), car non seulement ils ne retirent rien de la présence des girafes, mais en plus ils doivent subir les dégâts sur leurs cultures. Bien que les enquêtes sociétales souhaitant renseigner sur la perception des villageois vis-à-vis des girafes montrent globalement des opinions négatives, il est difficile d'évaluer avec précision quelle est la perception réelle des villageois sur les girafes. Ces derniers ont en effet plutôt intérêt à affirmer que la situation est mauvaise pour espérer dans un deuxième temps des compensations ou l'instauration de programme de développement.

Autre facteur favorable, le cœur de la zone girafe est facile d'accès, et surveillée étroitement par les services forestiers. Ainsi, si une girafe est braconnée, l'auteur a une très forte probabilité d'être vu (forte densité humaine), et arrêté. De plus, les condamnations pour avoir braconnée une girafe sont si lourdes (e.g. peines de prison, et amendes impossibles à payer pour un villageois), que rares sont ceux qui se risquent à tuer une girafe (Luxereau, 2004).

Dans le cœur de la zone girafe, chaque année plusieurs milliers de touristes viennent observer les girafes. De source officielle en 2006, plus de 16.000 touristes sont venus observer les girafes, générant un peu moins de 20.000€ de recettes, hors salaire des guides. Ce niveau de bénéfice direct ne permet pas une retombée économique efficace de la girafe. Pour avoir un impact substantiel sur la conservation des girafes, une somme bien supérieure à 1.25€ de recette par visiteur est nécessaire (e.g. 10€/personne). Les recettes sont redistribuées aux 4 communes du cœur de la zone girafes (50%), au fond d'aménagement de l'habitat de la girafe (30%), et au trésor national (20%). Le tourisme a donc pour vocation, entre autres, d'améliorer les conditions de vie des villageois du cœur de la zone girafes, et fait vivre 17 guides locaux grâce aux tickets d'entrée et pourboires. Cependant, les réalisations concrètes communautaires (e.g. puits) réalisées avec l'argent du tourisme des girafes sont rarissimes, voire inexistantes. D'autre part, les guides ont des niveaux de vie sans doute supérieurs aux autres villageois, et font vivre chacun de grandes familles, mais cet apport local d'argent reste très limité par rapport aux dizaines de milliers d'habitants du cœur de la zone girafe. Il existe aussi une micro-économie autour du bureau des guides de petits commerces (e.g. vente de boisson), et de mendicité des enfants à destination des touristes. Même si le tourisme des girafes est limité dans ce pays sahélien, il participe à la valorisation économique de la girafe. Dans ce contexte de cohabitation humains – girafes, c'est un élément essentiel pour assurer la survie des girafes.

En conclusion, protéger le cœur de la zone girafe est indispensable car elle concentre une grande partie de la population. La conservation des girafes y est facilitée par les programmes de conservation / développement, par sa taille restreinte, son accessibilité, la surveillance du braconnage, et l'apport économique lié au tourisme. Les cas de mortalité de girafes d'origine anthropogénique sont limitées dans la zone, mais la destruction de l'habitat, et le dérangement humains sont élevés et conduisent déjà à une dispersion accrue des girafes en dehors de la zone.

2. S'assurer de conditions favorables dans la zone de Fandou

A l'inverse du cœur de la zone girafes, la zone nouvellement colonisée de Fandou représente des conditions écologiques favorables aux girafes (faible densité humaine, ressource alimentaires élevées), mais les conditions économiques sont défavorables. De façon intéressante, la zone de Fandou, à l'image du cœur de la zone girafe apporte deux habitats complémentaires aux girafes : en saison des pluies les girafes sont dans une zone dominée par

la brousse tigrée, et en saison sèche elles sont dans une zone sableuse dominée par les acacias albida. Les avantages et inconvénients de la zone de Fandou semblent l'inverse de la zone centrale. La zone de Fandou combine une faible densité humaine (faible dérangement), des ressources en grande quantité, et une très faible densité de girafes. Notre étude montre qu'entre 20 et 30 girafes y résident désormais en permanence. A l'inverse du cœur de la zone girafes, la zone de Fandou ne bénéficiait jusqu'en 2010 d'aucun programme de développement en lien avec la présence des girafes. Interrogés sur la perception des villageois vis-à-vis des girafes dans la zone de Fandou, une étude menée en 2009 (Morou, 2010) montre que les villageois sont partagés entre l'espoir d'un développement touristique (45%), et le désintérêt pour les girafes (43%). Seuls 5% des villageois espèrent des retombées économiques des ONG. Pire, seuls 3% des villageois ont un sentiment de fierté à l'égard des girafes. La grande taille de la zone, sa difficulté d'accès, et de surveillance, sont autant de facteurs défavorables aux girafes. Le faible nombre de girafes et la difficulté d'accès, bien supérieur au cœur de la zone girafes, rendent la zone de Fandou peu propice au développement du tourisme. Pour que la zone de Fandou soit véritablement un refuge pour les girafes, qui y trouvent apparemment des conditions environnementales favorables, une bonne perception de girafes par les villageois est indispensable. L'absence de retombées du tourisme, et les faibles retombées des girafes en général dans la zone font craindre des conflits futurs dans cette zone, dont la gestion et l'atténuation seront plus difficile à maîtriser que dans la zone centrale.

3. Sécuriser les migrations longues distances

Les autres zones d'expansion des girafes ne sont pas clairement définies dans l'espace. De nombreuses zones de migrations temporaires ont été renseignées à l'Ouest, au Nord, et au Sud, parfois à plusieurs centaines de kilomètres du cœur de la zone girafes. Dans ces conditions, il est très difficile d'accompagner ces migrations par des mesures de protection des girafes, et encore moins de prévenir le braconnage qui est élevé lorsque les girafes traversent la frontière malienne ou nigériane. Ainsi, l'intensification des migrations des girafes dans de telles zones pourraient constituer un réel danger pour la survie de la population.

4. S'assurer de la bonne perception des villageois

Nous venons de le voir, la perception négative, ou l'indifférence des villageois qui cohabitent avec les girafes est un frein important à la survie à long terme des girafes. La perte de la

valeur symbolique des girafes par les villageois est croissante. Ces derniers se sentent dépossédés de cette ressource aujourd'hui souvent considérée comme une contrainte. Ce sentiment de frustration s'exprime à travers l'expression « la girafes des blancs » (Luxereau, 2004). Les villageois considèrent par ailleurs la girafe comme propriété exclusive des services des eaux et forêts. Cette vision est aujourd'hui encore largement partagée par 58% des villageois dans le cœur de la zone girafes et Fandou (Morou, 2010). N'en déplaise à la vision romantique occidentale, la symbolique séculaire de la girafe par les nigériens est en grande partie perdue et ne reviendra sans doute jamais. La patrimonialisation de la girafe reflète « une sensibilité nouvelle, occidentale et plutôt urbaine, liée à un sentiment de responsabilité vis-à-vis de la disparition annoncée d'espèces » (Luxereau, 2004). Avec l'impulsion des occidentaux, qui voient dans la girafe un patrimoine de la biodiversité indispensable à conserver, la girafe a aujourd'hui une valeur. La « valeur girafe » se traduit par le financement de programme de conservation / développement et par le tourisme qui concerne pour une proportion importante les touristes occidentaux, en particulier la communauté expatriée de Niamey. L'enjeu aujourd'hui pour la conservation des girafes est de faire passer son statut d'animal nuisible ou inutile à une potentielle source d'amélioration des conditions de vies. Qu'elle soit une volonté de conservation étrangère, ou une fierté nationale / locale, la conservation des girafes d'Afrique de l'Ouest ne sera possible qu'en lien avec un développement économique local. Dans un pays pauvre comme le Niger, l'argent engendré par les girafes est le moteur du XXI^{ème} siècle de la « patrimonialisation » de cette espèce. Cependant, la « valeur girafe » est aujourd'hui encore trop mal répartie pour que la perception des villageois soit globalement favorable aux girafes.

D. Quelles priorités pour le suivi scientifique des girafes ?

1. Continuer de surveiller la dynamique de la population

Nous l'avons vu, le suivi de la dynamique de la population par les comptages annuels utilisant la photo-identification sont efficaces dans le cas particulier des girafes de l'Afrique de l'Ouest. Si la méthode reste couteuse en temps et en argent, elle reste la seule qui permette de renseigner sur la structure de la population et les paramètres démographiques de la population (e.g. survie, temps de génération). Le nombre élevé de participants peut apparaître un inconvénient (besoins logistiques et financiers importants), mais en réalité, je pense que c'est un avantage. Ce nombre est bien plus élevé que lors d'un comptage aérien, car parfois plus de 20 personnes réparties en 3 équipes participent. Un grand nombre de participants implique la

collaboration de tous les acteurs de la conservation des girafes. C'est en effet le seul moment où tous travaillent ensemble : le Ministère de l'Environnement du Niger, les forestiers locaux, les représentants d'ONG, les guides locaux, les scientifiques, des étudiants nationaux et internationaux. C'est donc une occasion privilégiée pour tous les acteurs de la conservation des girafes de se retrouver, échanger leur expérience, et faire le point sur la situation des girafes. Les informations du terrain, par exemple en provenance des guides remontent donc plus facilement jusqu'aux organes étatiques décisionnels. En plus, les participants augmentent de façon non négligeable leur salaire grâce aux primes journalières de terrain, ce qui contribue à la vision girafe = argent, plutôt que girafe = conflit. La vision des girafes se modifie donc, du moins pour les participants des recensements. Malheureusement, les villageois qui sont les plus touchés par les dégâts des girafes n'y participent pas. Il serait donc sans aucun doute judicieux d'impliquer des représentants des villageois dans les recensements annuels, ce qui contribuerait aussi à l'appropriation de la ressource girafe par les villageois.

Les comptages doivent être annuels ou peuvent-ils être espacés ? Je pense que compte tenu de la fragilité de la population, de la vitesse à laquelle la dynamique de la population peut être impactée en cas de catastrophe (e.g. en cas de reprise massive du braconnage, voir ci-après), les comptages doivent demeurer annuels. Si la population dépasse les 400 individus (changement de statut UICN), alors on pourra envisager l'espacement des comptages. D'autre part, si les migrations des girafes s'intensifient, il faudra adapter le protocole, par exemple, faire dans un premier temps des repérages aériens des girafes éloignées du cœur de la zone girafe et de Fandou. Enfin, si le comptage terrestre par photo identification n'est plus adapté à la situation de terrain (e.g. toutes les girafes se dispersent et quittent le cœur de la zone girafes), ou que les moyens nécessaires à sa réalisation ne sont pas suffisants, d'autres méthodes devront être envisagées.

2. Continuer de renseigner la distribution des girafes

A mon sens, il est indispensable de continuer à surveiller étroitement la distribution de la population des girafes. Les migrations en dehors de la zone centrale semblent traduire une saturation de la zone centrale, mais représentent aussi un danger pour la survie des girafes, en particulier si elles traversent la frontière du Nigéria ou du Mali. Ce suivi idéalement devrait être réalisé localement, par exemple par les chercheurs et étudiants de l'Université Abdou Moumouni de Niamey, en collaboration avec les services forestiers. Ces derniers répartis dans le pays sont une source d'information précieuse pour renseigner sur les migrations des girafes.

Par ailleurs, il est nécessaire de s'assurer que si ce type de réseau se met en place, l'information soit centralisée en un seul point, afin d'éviter la perte d'information.

3. Le suivi individuel

La mise en place de colliers émetteurs sur certaines girafes a été une aventure riche en enseignements, et a permis de récolter des données uniques sur l'utilisation et la sélection d'habitat des girafes. Même si nous avons dû enlever précocement les colliers, notre expérience acquise permettrait d'augmenter les chances de succès en cas de nouvel essai. Pour autant, n'oublions pas que l'anesthésie des girafes reste une opération très délicate, qui doit être préparée avec minutie. D'autre part, l'intervention est couteuse. Elle doit donc être envisagée uniquement pour répondre à des questions prioritaires de conservation. Elle pourrait être envisagée à nouveau si les migrations des girafes s'intensifient en dehors de la zone girafe. En particulier, on pourrait équiper des mâles sub-adultes qui semblent être les premiers concernés par la dispersion en dehors du cœur de la zone girafes. Le design des colliers doit être amélioré. Je recommande de tester les futurs colliers girafes sur des girafes en zoo. Certains zoos communiquent beaucoup sur les girafes sauvages en faisant le lien avec



leurs animaux en captivité. Une telle opération permettrait de parfaire ce lien. Par ailleurs, un autre chercheur de Giraffe Conservation Foundation, vient tout juste d'élaborer un nouveau design complètement différent du notre, et particulièrement prometteur. Il s'agit d'une sorte de casque avec un émetteur satellite en son sommet. La miniaturisation des batteries a rendu possible l'élaboration d'un tel système de fixation, bien plus léger que celui que nous avons testé, et sans doute plus adapté. Les tests sont en cours.

4. Opportunité de recherche

Le suivi de la taille et surtout de la composition des troupes représente une occasion de mieux comprendre le réseau social des girafes. En effet, si celui-ci est considéré comme extrêmement fluide (système fusion / fission) des études récentes (Shorrocks & Croft, 2009,

Grou, comm. Pers.) montrent qu'il existe des associations préférentielles au sein des troupeaux, avec certains individus maintenant le lien social entre les troupeaux (e.g. transmission de l'information sociale, mais aussi transmission des maladies). La population des girafes d'Afrique de l'Ouest représente une occasion unique d'approfondir nos connaissances sur les facteurs régissant les réseaux sociaux chez les girafes car (i) quasiment toutes les girafes sont déjà identifiées, (ii) et les girafes de l'Afrique de l'Ouest se laissent approcher et observer facilement. D'autre part, une étude génétique de paternité permettrait enfin de comprendre le lien entre le degré d'apparentement, et la socialité chez les girafes. En complément de ma thèse, j'ai réalisé des biopsies sur les girafes. J'ai prélevé l'ADN à l'aide d'un fusil vétérinaire d'environ 150 des 200 girafes vivantes en 2008. (iii) L'analyse par micro-satellite permettra de retracer en grande partie l'arbre généalogique de la population et ouvrira la voie vers la connaissance du fonctionnement de la structure sociale des girafes.

D'autre part, cette étude génétique permettra aussi d'apporter un éclairage nouveau sur l'hypothèse de la sélection sexuelle pour expliquer la taille des cous des girafes (voir encart partie 2 : Avantage et « coût des coups de cou »). L'hypothèse de la sélection sexuelle prédit que les mâles aux cous les plus longs et les plus larges sont ceux qui ont accès à la reproduction, et conférant ainsi un avantage évolutif qui se traduit par une meilleure fitness. L'étude de paternité permettrait de confirmer le lien entre gros cou et succès d'appariement.

E. Options de gestion

1. La stratégie nationale de conservation des girafes

Nous avons insisté tout le long de ce travail sur l'importance de l'intégration des populations humaines qui cohabitent avec les girafes dans l'élaboration des stratégies de conservation, et de leur perception de ces animaux. Les hommes sont les garants de la survie des girafes, à la fois directement (e.g. braconnage), et indirectement via la disponibilité (e.g. destruction de l'habitat) et l'accès aux ressources clés (e.g. dérangement), comme la brousse tigrée (saison des pluies), les arbres (saison sèche), ou encore les points d'eau. La protection des girafes, en parallèle à un développement économique local, doit se faire à travers l'élaboration d'une planification des actions pour mener à bien conjointement les objectifs de protection des girafes et de développement local.

Conscients de la nécessité d'une politique de gestion claire où les actions de conservations sont identifiées et priorisées, des ateliers ont été organisés à Niamey pour élaborer la Stratégie

Nationale de Conservation des Girafes du Niger entre 2006 à 2009. Ces ateliers ont été organisés par le Ministère de l'Environnement du Niger, et financés l'Union Européenne à travers le programme ECOPAS. Ces ateliers ont réuni tous les acteurs locaux (e.g. représentants des communes de la zone girafes, ONG, les guides), étatiques (e.g. Ministère de l'Environnement), et internationaux (e.g. experts internationaux de la conservation et des girafes).

Après un atelier en 2006 posant les bases d'une réflexion sur les stratégies de conservation, fin 2008, un atelier PHVA (Population Habitat Viability Analysis) s'est tenu à Niamey. Cet atelier s'est déroulé en 2 parties. La première, où les représentants de la conservation des girafes ont été réunis, soit environ 40 personnes, a permis de mieux cerner les problèmes associés à la conservation des girafes. Pour ce faire, 5 groupes de réflexion ont été créés. La deuxième partie concernait l'évaluation du risque d'extinction de la population des girafes par la modélisation, et a permis de tester plusieurs scénarios de stratégie de conservation. Pour ce faire, des experts nationaux et internationaux ont participé à la modélisation de ces scénarios encadrés par des spécialistes de ce type de modélisation : IUCN/CBSG (Conservation Breeding Specialist Group). Pour les détails du principe de la modélisation voir partie modélisation ci-après.

2. Axes de réflexion

Les 5 groupes de réflexions concernaient : (Gr.1) l'agriculture et la biodiversité, (Gr.2) la gestion du parc arboré et de la brousse tigrée, (Gr.3) le recherche et le suivi scientifique, (Gr.4) la valorisation de la girafe, (Gr.5) l'harmonisation des interventions.

Les débats ont donné lieu à de nombreux échanges et propositions de gestion. Je souhaite simplement ici rappeler quelques-unes des principales réflexions. Le groupe « agriculture et biodiversité » a mis en avant le challenge que constitue la conciliation des besoins pour les hommes de pouvoir cultiver suffisamment (besoin de terres, et besoin d'un meilleur rendement agricole), tout en maintenant un parc arboré et de brousse tigré en quantité suffisante pour combler les besoins alimentaires les girafes. Parmi les solutions proposées par le groupe de travail « gestion du parc arboré et de la brousse tigrée », certains ont mis en avant la nécessité de gérer les marchés de bois aujourd'hui totalement hors de contrôle. Le groupe a aussi fait remarquer le manque de solutions alternatives pour les villageois qui augmentent leurs maigres revenus en s'improvisant marchands de bois. Le groupe 3 concernait la recherche scientifique et le suivi des girafes. Il a mis en avant le besoin de

poursuivre le suivi de la dynamique de la population (comptages), de la distribution spatiale des girafes, et de mener à bien une étude génétique complète sur cette population. Le groupe a aussi souligné l'importance de prendre en compte et d'anticiper l'impact des catastrophes, qui sont par essence imprévisibles, ont une faible probabilité d'occurrence, mais qui peuvent menacer fortement la population, voir conduire à son extinction. Les causes des catastrophes sont nombreuses: reprise massive du braconnage suite à la saturation sociétale des villageois, ou instabilité politique (exemple de l'Autruche à cou rouge du Sahara qui est passée de 2500 individus en 1992 à 5), risques épidémiologiques (exemple de la Rinderpest au Kenya: 90% des girafes perdues), risque naturels (sécheresse, exemple de la réserve Gadabéji : la sécheresse de 72/73 a exterminé les dernières girafes). Ces risques de catastrophes ont été intégrés dans la modélisation des stratégies de conservation (voir partie modélisation ci-après). Le groupe « valorisation de la girafe » a souligné le manque de retombées directes de la ressource girafe, en particulier l'absence d'infrastructures touristiques (e.g. hôtels) dans le cœur de la zone girafe, et le manque d'intégration des humains, dont la richesse culturelle n'est pas du tout valorisée. Enfin, le groupe « harmonisation des interventions » a souligné l'absence de coordination des acteurs de la conservation, où chaque protagoniste agit indépendamment des autres, et dont les actions ne s'intègrent pas dans une stratégie globale.

Le but de ces ateliers est en particulier de fournir au Niger une stratégie globale de conservation des girafes compatible avec le développement économique local. Malheureusement, aujourd'hui, le document de stratégie reposant sur les réflexions et les recommandations de ces ateliers n'a toujours pas été finalisé.

3. La modélisation des scénarios de conservation

a. Principe

L'évaluation de l'extinction de la population a nécessité l'intervention de plusieurs modélisateurs, experts girafes, généticiens, spécialistes en conservation et aires protégées. De nombreux facteurs, parfois en interactions, influençant la probabilité d'extinction ont pu être explorés, et diverses stratégies de conservation testées. Le principe de cette modélisation est d'estimer le risque d'extinction d'une population par des analyses incorporant des menaces affectant la survie des populations. Le programme VORTEX simule les naissances, les mortalités, des effets de densité dépendance etc. Son principe repose sur une simulation de Monte Carlo des effets déterministes tels que la démographie, l'environnement, et événements stochastiques tels que les catastrophes.

La première étape de la modélisation lors d'une simulation de scénarios à partir d'une population réelle, est d'intégrer des informations sur la biologie de l'espèce (système de reproduction, taille des portées) et des paramètres démographiques (succès reproducteur, survie). Dans le cadre de la modélisation de la population des girafes d'Afrique de l'Ouest, tout d'abord, nous avons affiné la vraisemblance du modèle en comparant les données réelles aux données observées. Puis, une fois les paramètres du modèle ajustés, nous avons simulé plusieurs scénarios de stratégie de conservation: arrêt de la destruction de l'habitat, constitution d'une sous population de girafes etc. Ainsi, nous avons pu évaluer l'impact de divers facteurs, et la probabilité de survie de la population suivant les scénarios testés.

Le modèle de base a été construit pour représenter l'évolution de la population entre 1996 et 2008. Les paramètres démographiques intégrés au modèle proviennent de l'analyse des comptages, notre analyse démographique, de la littérature, et des discussions entre les experts. Le modèle a été testé en comparant les résultats du modèle (théoriques) aux résultats des comptages (observés). Ainsi, le modèle a été construit en intégrant un système polygyne de reproduction, une survie annuelle de chez les femelles 0.94 adultes etc. D'autres paramètres, plus difficiles à estimer ont aussi été intégrés au modèle, par exemple, la capacité d'accueil.

b. Principaux résultats

Bien que nous ignorions la capacité d'accueil réelle de la zone girafes, ce paramètre a été fixé à 300. Compte tenu du nombre de girafes alors vivantes (environ 200), et de l'apparition de phénomènes apparentés à de la densité dépendance se traduisant par le départ des girafes du cœur de la zone girafes, ce chiffre nous est apparu réaliste. Une zone de colonisation des girafes a été modélisée avec une plus faible probabilité de survie que dans le cœur de la zone girafes, mais avec une capacité d'accueil plus importante fixée à 700 individus. La sensibilité (élasticité) des paramètres a été testée (e.g. variation de l'âge à la première reproduction, durée de vie, mortalité adulte). En bon accord avec notre étude démographique, la modélisation montre que c'est la variation de survie des femelles adultes qui impacte le plus le taux de croissance de la population des girafes.

Puis, plusieurs scénarios ont été testés, voici les résultats de certains d'entre eux.

Scénario 1 : Statu quo, c'est-à-dire pas de destruction de l'habitat supplémentaire, et une prise en compte des catastrophes (e.g. reprise massive du braconnage avec une faible occurrence, mais fort impact sur la population). Le résultat de la modélisation évalue une probabilité

d'extinction sur une période de 150 ans de la population des girafes de 14 %, avec une probabilité d'extinction dans le cœur de la zone girafes de 32%. La population augmente donc ses chances de survie en colonisant des nouvelles zones. Ceci confirme bien qu'il est indispensable de sécuriser le cœur de la zone girafes, mais aussi les zones de colonisation qui seront sans doute un refuge important en particulier si la capacité d'accueil de la zone girafes diminue. C'est ce que test le second scénario. Le taux de destruction de l'habitat ses 20 dernières années dans le cœur de la zone girafes était, suivant les sources, entre 50 et 80%. Si l'habitat continue d'être détruit à cette vitesse (2,5-4% annuel), le modèle prédit une probabilité d'extinction de 16 à 20%. Dans ce modèle, la probabilité d'extinction globale augmente peu par rapport au premier modèle, grâce à l'existence des zones d'expansion. Enfin, lors des ateliers il a souvent été question de créer une sous population dans une aire protégée pour augmenter les chances de survie des dernières girafes de l'Afrique de l'Ouest en cas de catastrophe. Sans trop rentrer dans les détails, ce scénario a été testé et il montre que la probabilité d'extinction des girafes peut s'approcher de 0 si une sous population était créée. Cependant, une telle opération pose de nombreuses questions biologiques, techniques et éthiques.

c. Création d'une sous population ?

Afin de mener à bien une opération de création d'une sous population, il faut, entre autre, réunir les conditions suivantes:

- **Un nombre adapté de girafes**

Un nombre suffisant de girafes pour qu'une population puisse se maintenir et croître (voir effet Allee, le cas des petites populations, partie 3). Les girafes ont montré qu'elles pouvaient se restaurer à partir d'un faible nombre, mais il faut prendre la précaution de choisir des individus faiblement apparentés pour diminuer les risques de consanguinité. L'étude génétique en cours permettra de répondre à cette question.

- **Ne pas affaiblir la population source.**

Les girafes d'Afrique de l'Ouest sont listées en Danger. Je pense qu'il est peu prudent de mener une telle opération tant que la population ne dépasse pas les 400 individus (statut UICN vulnérable). A mon sens, la première étape pour la conservation des girafes est de continuer d'assurer les chances de survie de la population dans le cœur de la zone girafes, les zones d'expansion, puis éventuellement augmenter les chances de survie des girafes en créant une

sous population, en particulier si la pression dans le cœur de la zone girafes et les zones d'expansion augmentent.

- **Former des groupes sociaux viables**

Compte tenu de la fluidité de la composition des troupes de girafes observée, former des groupes sociaux viables ne devrait pas poser de problème majeur. Cependant, il faudra prendre en compte le système de reproduction polygyne des girafes, et la grande compétition sexuelle chez les mâles adultes, en évitant par exemple de construire une population de départ avec un trop grand nombre de mâles adultes reproducteurs. Une étude sur la socialité des girafes permettrait de préciser le choix des individus fondateurs.

- **Choisir des habitats adaptés**

Compte tenu de la distribution spatiale observée dans le cœur de la girafe et dans la zone colonisée de Fandou, les girafes utilisent deux habitats saisonniers et se distribuent en fonction de la phénologie des plantes. Ainsi, la zone sélectionnée, en plus de devoir fournir les conditions de sécurité nécessaires, devra prendre en compte les besoins alimentaires sélectifs des girafes, en proposant 2 habitats saisonniers complémentaires.

- **Réunir les moyens nécessaires**

Nous l'avons vu lors de la pose des colliers émetteurs girafes, l'anesthésie et la manipulation des girafes est extrêmement délicate. Une opération de translocation requiert la mobilisation d'importants moyens matériels, humains, et financiers. La réunion de tous ces facteurs est nécessaire à la réussite d'une telle opération.

F. Conclusion générale

Les dernières girafes de l'Afrique de l'Ouest étaient en 1996 au bord de l'extinction après une intense période de braconnage et de destruction de l'habitat. Le taux de croissance le plus élevé jamais enregistré pour une population de girafes, résultant d'une survie des femelles adultes fortes, ainsi que celle des juvéniles, et d'un intervalle court entre les naissances, qui sont autant de paramètres démographiques encourageants, montrent que la population est sur la voie de la restauration depuis cette période. Les girafes sont des méga-herbivores qui ont des contraintes biologiques élevées car elles doivent se nourrir en grande quantité et sélectivement. Dans un environnement sahélien, les girafes adaptent leur patron de distribution spatiale pour combler leurs besoins alimentaires en réalisant des migrations saisonnières en fonction de la phénologie des plantes, qui est conditionnée par la saisonnalité de la pluie. Dans cet environnement particulier, sans prédateur, les girafes adaptent la taille des troupeaux à la densité de végétation en suivant un patron inverse de ce qui est attendu chez les ongulés. En effet, les troupeaux sont les plus grands dans les zones de végétation dense. En absence de prédation, la taille des troupeaux des girafes semble principalement limitée par la compétition intraspécifique. Une des particularités des girafes d'Afrique de l'Ouest est la cohabitation avec une forte densité de population humaine. Les activités humaines impactent la distribution des girafes en détruisant l'habitat, mais aussi par le dérangement qui conditionne le déplacement des girafes. Les girafes évitent les villages et les points d'eau le jour, où le dérangement est élevé, et s'approchent des villages la nuit, d'autant plus si ces derniers sont près des points d'eau. Ce comportement pour le moins surprenant s'explique par un faible dérangement humain la nuit, et parce que les villages concentrent les ressources clés pour les girafes en saison sèche : des densités d'arbres élevées (ressource alimentaires), des ressources en eau, et plus surprenant des ressources alimentaires d'origine humaine de haute qualité nutritive comme les haricots. Les girafes se sont donc adaptées à cet environnement humain, et ont modifié leur alimentation. Ainsi, le terroir villageois a apporté des conditions environnementales idéales pour les girafes entre 1996 et 2008, comme le montre le taux de croissance exceptionnel de la population pendant cette période. Cependant, la situation semble évoluer, et de nouvelles contraintes apparaissent. Avec la croissance de la population des girafes en parallèle à une destruction rapide de l'habitat, il semble que nous arrivions à la saturation écologique des girafes dans le cœur de la zone girafes. De plus, cette cohabitation humains-girafes semble de plus en plus conflictuelle, et nombreux sont les villageois qui se plaignent des girafes, et des dégâts occasionnés sur les récoltes. Les conflits

liés à la cohabitation humains-girafes au Niger ne donnent lieu aujourd'hui qu'à de très rares cas de braconnage. Pour autant, un nouveau comportement inquiétant est apparu depuis quelques années, certains villageois, peut être excédés par les girafes, blessent les girafes en leur lançant leur machettes. Ceci n'est pas du braconnage au sens classique, c'est-à-dire pour manger les girafes, mais semble traduire une saturation sociétale. Cette saturation sociétale est largement confirmée par les enquêtes réalisées auprès des villageois qui se sentent dépossédés de la « ressource girafe », dont la valeur symbolique semble être perdue. La saturation de l'habitat, et la saturation sociétale, se traduit aujourd'hui par des migrations d'un nombre croissant des girafes en dehors du cœur de la zone girafe. Les zones d'expansion sont un refuge possible pour les girafes, mais la gestion de ces zones est sans doute plus problématique que dans le cœur de la zone girafes qui bénéficie d'actions de conservation, de développement, et de quelques retombées économiques liées au tourisme. Le défi pour assurer l'avenir des dernières girafes de l'Afrique de l'Ouest consiste à assurer des conditions favorables aux girafes dans le cœur de la zone girafes, mais aussi dans les zones d'expansion. Un tel défi ne pourra être relevé qu'à travers la valorisation de la ressource girafe, et d'une répartition équitable des retombées sur les communautés humaines, dont la perception des girafes reste globalement négative. De plus, n'oublions pas que la population reste très fragile, et en cas de catastrophe humaine (reprise du braconnage, instabilité politique), ou écologique (sécheresse), les dernières girafes de l'Afrique de l'Ouest pourraient bien disparaître. C'est un patrimoine génétique unique qui serait perdu à tout jamais. Il est nécessaire qu'un cadre de gestion clair soit élaboré pour pérenniser la survie de cette population unique. Ce cadre doit comprendre des objectifs et des actions de protection des girafes, de l'habitat, mais aussi des mesures de développement humain, et doit être validé par tous les acteurs de la conservation des girafes. L'avenir nous dira si la cohabitation humains-girafes est viable durablement.

Références bibliographiques

- Abdou, N. Etude prospective des sites de formations contractées dans certaines zones de l'Ouest nigérien (Fandou et Tombo) dans la perspective de la décongestion de la zone de Kouré habitat actuel des Girafes. Msc thesis: Ecology. University Abdou Moumouni, Niamey.
- Abraham, K. F., R. L. Jefferies, and R. T. Alisauskas. 2005. The dynamics of landscape change and snow geese in mid-continent North America. *Global Change Biology* 11:841-855.
- Adams, W. M., and D. Hulme. 2001. If community conservation is the answer in Africa, what is the question? *Oryx* 35:193-200.
- Aebischer, N. J., P. A. Robertson, and R. E. Kenward. 1993. Compositional Analysis of Habitat Use From Animal Radio-Tracking Data. *Ecology* 74:1313-1325.
- Allin, M. 1998. *Zarafa: A Giraffe's True Story from Deep in Africa to the Heart of Paris*. Walker and Company, New York.
- Ambouta, K. J. M. 1984. Contribution à l'édaphologie de la brousse tigrée de l'Ouest nigérien. p. 116. PhD thesis: Ecology. Nancy I.
- Ambouta, K. J. M. 2006. Contribution à l'élaboration d'une stratégie de conservation à long terme de la girafe (*Giraffa camelopardalis peralta*) au Niger. Pages 39-55. Parc Régional W (ECOPAS), Niamey, Niger.
- ASGN. 2008. Rapport 2008. South Lakes Wild Animal Park, Zoo de Doue, editor p.19.
- Aycrigg, J. L., and W. F. Porter. 1997. Socio-spatial dynamics of white-tailed deer in the central Adirondack Mountains, New York. *Journal of Mammalogy* 78:468-482.
- Barnosky, A. D., N. Matzke, S. Tomiya, G. O. U. Wogan, B. Swartz, T. B. Quental, C. Marshall, J. L. McGuire, E. L. Lindsey, K. C. Maguire, B. Mersey, and E. A. Ferrer. 2011. Has the Earth's sixth mass extinction already arrived? *Nature* 471:51-57.
- Barragé, M. 2004. Contribution à l'Etude de Conflits Girafe - Population locale sur la zone de transition de la réserve de la Biosphère de la Région de «Parc W» du Niger. Msc thesis : geography. Université Jean Moulin, Lyon 3.
- Barth, H. 1858. *Travels and Discoveries in North and Central Africa*. Longmans and Roberts, London.
- Battaglia, J. 2005. Disponible sur: http://www.dinosoria.com/histoire_girafe.htm.
- Benhamou, S. 1996. Space use and foraging movements in the American red squirrel (*Tamiasciurus hudsonicus*). *Behavioural processes* 37:89-102.

- Bercovitch, F., M. Bashaw, and S. Delcastillo. 2006. Sociosexual behavior, male mating tactics, and the reproductive cycle of giraffe *Giraffa camelopardalis*. *Hormones and Behavior* 50:314-321.
- Bercovitch, F. B., and P. S. M. Berry. 2010. Ecological determinants of herd size in the Thornicroft's giraffe of Zambia. *African Journal of Ecology* 48:962-971.
- Berry, P. S. M. 1973. The Luangwa Valley Giraffe. *Puku* 7:71-92.
- Birck, C. 2001. Implication des acteurs locaux dans le processus de conservation de la girafe au Niger. MsC thesis : Ecology. Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris.
- Blancou, L. 1960. Destruction and protection of the fauna of French Equatorial and of French West Africa. *African Wildlife II* 14:101-108.
- Bonenfant, C., J. M. Gaillard, F. Klein, and A. Loison. 2002. Sex- and age-dependent effects of population density on life history traits of red deer *Cervus elaphus* in a temperate forest. *Ecography* 25:446-458.
- Bonenfant, C., J. M. Gaillard, T. Coulson, M. Festa-Bianchet, A. Loison, M. Garel, L. E. Loe, P. Blanchard, N. Pettorelli, N. Owen-Smith, J. Du Toit, and P. Duncan. 2009. Empirical Evidence of Density-Dependence in Populations of Large Herbivores. Pages 313-357 in H. Caswell, editor. *Advances in Ecological Research*, Vol 41.
- Boulet, H., E. H. I. Niandou, M. Alou, D. Dulieu, and B. Chardonnet. 2004. Giraffes (*Giraffa camelopardalis peralta*) of Niger. *Antelope Survey Update 9*. IUCN/SSC Antelope Specialist Group Report.
- Boureïma, A. 2006. Contribution à l'élaboration d'une stratégie de conservation à long terme de la girafe (*Giraffa camelopardalis peralta*) au Niger Ecopas.
- Bourgarel, M. 2004. Approche de la dynamique des populations de grands herbivores dans une aire protégée: L'exemple de l'Impala (*Aepyceros melampus*) au Zimbabwe. PhD thesis: Ecology. Université Claude-Bernard, Lyon 1.
- Bowler, D. E., and T. G. Benton. 2005. Causes and consequences of animal dispersal strategies: relating individual behaviour to spatial dynamics. *Biological Reviews* 80:205-225.
- Brashares, J. S., P. Arcese, M. K. Sam, P. B. Coppolillo, A. R. E. Sinclair, and A. Balmford. 2004. Bushmeat hunting, wildlife declines, and fish supply in West Africa. *Science* 306:1180-1183.
- Brown, D. M., R. A. Brenneman, K. P. Koepfli, J. P. Pollinger, B. Mila, N. J. Georgiadis, E. E. Louis, G. F. Grether, D. K. Jacobs, and R. K. Wayne. 2007. Extensive population genetic structure in the giraffe. *Bmc Biology* 5.
- Brown, J. S. 1999. Vigilance, patch use and habitat selection: Foraging under predation risk. *Evolutionary Ecology Research* 1:49-71.

- Brünnich, M. T. 1772. *Zoologiae Fundamenta, Grunde I Dyreloeren*. Hafnioe et Lipsioe.
- Buckland, S. T., D. R. Anderson, K. P. Burnham, J. L. Laake, D. L. Borchers, and L. Thomas. 2001. *Introduction to distance sampling*. Oxford University Press, Oxford.
- Burt, W. H. 1943. Territoriality and home range concepts as applied to mammals. *Journal of Mammalogy* 24:346-352.
- Buskirk, S. 2004. Keeping an eye on the neighbors. *Science* 306:238-239.
- Cagnacci, F., L. Boitani, R. A. Powell, and M. S. Boyce. 2010. Animal ecology meets GPS-based radiotelemetry: a perfect storm of opportunities and challenges. *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences* 365:2157-2162.
- Cain, M. L. 1985. Random Search by Herbivorous Insects: A Simulation Model. *Ecology* 66:876-888.
- Caister, L. E., M. William, and A. Gosser. 2003. Female tannin avoidance: a possible explanation for habitat and dietary segregation of giraffes (*Giraffa camelopardalis peralta*) in Niger. *African Journal of Ecology* 41:201-210.
- Calenge, C. 2005. Des outils statistiques pour l'analyse des semi de points dans l'espace écologique. PhD Thesis: Ecology. Université Claude Bernard, Lyon 1.
- Cameron, T. C., and T. G. Benton. 2004. Stage-structured harvesting and its effects: an empirical investigation using soil mites. *Journal of Animal Ecology* 73:996-1006.
- Campbell, K. L. I., and H. Hofer. 1995. People and Wildlife: Spatial Dynamics and Zones of Interaction. Pages p. 535-574 in S. a. P. Arcese, editor. *Serengeti II*. University of Chicago Press, Chicago.
- Caswell, H. 2001. *Matrix population models: construction, analysis and interpretation*. Sinauer Associates, Sunderland.
- Caughley, G. 1977. Sampling in aerial survey. *Journal of Wildlife Management* 41:605-615.
- Caughley, G. 1994. Directions in conservation biology. *Journal of Animal Ecology* 63:215-244.
- Chardonnet, P. 1996. *Faune sauvage africaine : la ressource oubliée*. Office des publications officielles des Communautés européennes, Luxembourg.
- Chiyo, P. I., P. C. Lee, C. J. Moss, E. A. Archie, J. A. Hollister-Smith, and S. C. Alberts. 2011. No risk, no gain: effects of crop raiding and genetic diversity on body size in male elephants. *Behavioral Ecology* 22:552-558.
- Ciofolo, I. 1990. Girafes et Hippopotames du Niger. Situation actuelle et potentialités. Page 49 in M. d. l. Coopération, editor, Paris.

Ciofolo, I. 1991. Faune sauvage et potentialités régionales: la girafe dans la région de Koure-Boboye, l'hippopotame dans la région d'Ayorou. p. 67 in R. IUCN/DFPP, editor, Niamey.

Ciofolo, I. 1995. West Africa's last giraffes: the conflict between development and conservation. *Journal of Tropical Ecology* 11:577-588.

Ciofolo, I. 1998. Rapport final de mission du Projet d'Utilisation des Ressources Naturelles de Kouré et du Dallol Bosso Nord. PURNKO report, Niamey.

Ciofolo, I., and Y. Le Pendu. 2002. The feeding behavior of giraffe in Niger. *Mammalia* 66:183-194.

Ciofolo, I., Y. Le Pendu, and A. Gosser. 2000. Les girafes du Niger, dernières girafes d'Afrique de l'Ouest. *Revue d'Ecologie (La Terre et La Vie)* 55:117-128.

Clutton-Brock, T. H. 1991. The evolution of parental care. Princeton University Press, Princeton

Clutton-Brock, T. H., D. Gaynor, G. M. McIlrath, A. D. C. Maccoll, R. Kansky, P. Chadwick, M. Manser, J. D. Skinner, and P. N. M. Brotherton. 1999. Predation, group size and mortality in a cooperative mongoose, *Suricata suricatta*. *Journal of Animal Ecology* 68:672-683.

Clutton-Brock, T. H., F. E. Guinness, and S. D. Albon 1982. Red Deer: Behavior and Ecology of Two Sexes, Chicago.

Codron, D., J. A. Lee-Thorp, M. Sponheimer, and J. Codron. 2007. Nutritional content of savanna plant foods: implications for browser/grazer models of ungulate diversification. *European Journal of Wildlife Research* 53:100-111.

Codron, D., J. A. Lee-Thorp, M. Sponheimer, and J. Codron. 2007. Nutritional content of savanna plant foods: implications for browser/grazer models of ungulate diversification. *European Journal of Wildlife Research* 53:100-111.

Collinson, R. F. H. 1985. Selecting wildlife census techniques Institute of Natural Resources. University of Natal.

Conradt, L., T. H. Clutton-Brock, and F. E. Guinness. 1999. The relationship between habitat choice and lifetime reproductive success in female red deer. *Oecologia* 120:218-224.

Coulson, T., E. A. Catchpole, S. D. Albon, B. J. T. Morgan, J. M. Pemberton, T. H. Clutton-Brock, M. J.

Coulson, T., E. A. Catchpole, S. D. Albon, B. J. T. Morgan, J. M. Pemberton, T. H. Clutton-Brock, M. J. Crawley, and B. T. Grenfell. 2001. Age, sex, density, winter weather, and population crashes in Soay sheep. *Science* 292:1528-1531.

Coulson, T., E. J. Milner-Gulland, and T. Clutton-Brock. 2000. The relative roles of density and climatic variation on population dynamics and fecundity rates in three contrasting

ungulate species. *Proceedings of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences* 267:1771-1779.

Coulson, T., S. Albon, F. Guinness, J. Pemberton, and T. Clutton-Brock. 1997. Population substructure, local density, and calf winter survival in red deer (*Cervus elaphus*). *Ecology* 78:852-863.

Coulson, T., S. Albon, J. Pilkington, and T. Clutton-Brock. 1999. Small-scale spatial dynamics in a fluctuating ungulate population. *Journal of Animal Ecology* 68:658-671.

Courchamp, F., E. Angulo, P. Rivalan, R. J. Hall, L. Signoret, L. Bull, and Y. Meinard. 2006. Rarity value and species extinction: The anthropogenic Allee effect. *Plos Biology* 4:2405-2410.

Courchamp, F., T. Clutton-Brock, and B. Grenfell. 1999. Inverse density dependence and the Allee effect. *Trends in Ecology & Evolution* 14:405-410.

Cousins, J. A., J. P. Sadler, and J. Evans. 2008. Exploring the role of private wildlife ranching as a conservation tool in South Africa: stakeholder perspectives. *Ecology and Society* 2.

Craigie, I. D., J. E. M. Baillie, A. Balmford, C. Carbone, B. Collen, R. E. Green, and J. M. Hutton. 2010. Large mammal population declines in Africa's protected areas. *Biological Conservation* 143:2221-2228.

Crawley, and B. T. Grenfell. 2001. Age, sex, density, winter weather, and population crashes in Soay sheep. *Science* 292:1528-1531.

Cully, W. 1958. *Giraffa camelopardalis*. *Parks and recreation*:41:197-198.

Dagg, A. I. 1971. *Giraffa camelopardalis*. *Mammalian Species* 5:1-8.

Dagg, A. I., and J. B. Foster. 1976. *The Giraffe: its biology, behaviour and ecology*. Krieger Publishing Co, Malabar.

Darwin, C. 1859. *The Origin of Species by means of Natural Selection*. John Murray, London.

Decalo, S. 1979. *Historical Dictionary of Niger*. Scarecrow Press Metuchen, London.

Déclaration de Rio, 1992. Disponible sur : <http://www.un.org/french/events/rio92/rio-fp.htm>

del Castillo, S. M., M. J. Bashaw, M. L. Patton, R. R. Rieches, and F. B. Bercovitch. 2005. Fecal steroid analysis of female giraffe (*Giraffa camelopardalis*) reproductive condition and the impact of endocrine status on daily time budgets. *General and Comparative Endocrinology* 141:271-281.

del Monte-Luna, P., B. W. Brook, M. J. Zetina-Rejon, and V. H. Cruz-Escalona. 2004. The carrying capacity of ecosystems. *Global Ecology and Biogeography* 13:485-495.

- Dollman, J. G. 1929. A South African giraffe. *Natural History Magazine* 2:64-67.
- Duncan, P., H. Tixier, R. Hofmann, and M. Lechner-Doll. 1998. Feeding strategies and the physiology of digestion in roe deer. Pages 91-116 in R. Andersen, P. Duncan, and J. D. C. Linnell, editors. *The European roe deer: the biology of a success*. Scandinavian University Press.
- Dutoit, J. T. 1990. Feeding-height stratification among African browsing ruminants. *African Journal of Ecology* 28:55-61.
- East, R. 1999. African Antelope Database 1998. IUCN/SSC Antelope Specialist Group, IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge.
- Ebedes, H. 1976. Anthrax epizootics in Etosha National Park. *Madoqua* 10:99-118.
- Eberhardt, L. L. 1977. Optimal policies for conservation of large mammals, with special reference to marine ecosystems. *Environmental Conservation* 4:205-212.
- Eberhardt, L. L. 2002. A paradigm for population analysis of long-lived vertebrates. *Ecology* 83:2841-2854.
- Ehlers, J. D. 1997. Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp). *Field Crops Research*:53: 187-204.
- Ellner, S. P., B. A. Bailey, G. V. Bobashev, A. R. Gallant, B. T. Grenfell, and D. W. Nychka. 1998. Noise and nonlinearity in measles epidemics: Combining mechanistic and statistical approaches to population modeling. *American Naturalist* 151:425-440.
- Elton, C. 1927. *Animal ecology*. Sidgwick and Jackson, London.
- Erickson, W. P., T. L. McDonald, K. Gerow, J. Kern, and S. Howlin. 2001. Statistical issues in resource selection studies with radio-marked animals. Pages 209-242. in J. M. Marzluff, editor. *Radio trackin and Animal populations*. Academic Press, San Diego.
- Fennessy, J. 2004. Ecology of desert-dwelling giraffe, *Giraffa camelopardalis angolensis*, in northwestern Namibia. PhDUthesis : Ecology. University of Sydney
- Fennessy, J., and D. Brown. 2008. *Giraffa camelopardalis* ssp. *peralta*. IUCN Red List of Threatened Species. IUCN, Gland, Switzerland. Disponible sur : www.iucnredlist.org.
- Fennessy, J., and R. Brenneman. 2010. *Giraffa camelopardalis* ssp. *rothschildi*. In: IUCN 2011. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2011.1. Disponible sur : www.iucnredlist.org.
- Festa-Bianchet, M., J. M. Gaillard, and J. T. Jorgenson. 1998. Mass- and density-dependent reproductive success and reproductive costs in a capital breeder. *American Naturalist* 152:367-379.

- Festa-Bianchet, M. 2003. Exploitative wildlife management as a selective pressure for life-history evolution of large mammals. Pages 191-210. *Animal behavior and wildlife conservation*. Island Press.
- Fisher, D. O., and I. P. F. Owens. 2004. The comparative method in conservation biology. *Trends in Ecology & Evolution* 19: 391-399.
- Foster, J. B. 1966. The giraffe of Nairobi National Park: Home range, sex ratios, the herd and food. *East African Wildlife Journal* 4:139-148.
- Fox, A. D., J. Madsen, H. Boyd, E. Kuijken, D. W. Norriss, I. M. Tombre, and D. A. Stroud. 2005. Effects of agricultural change on abundance, fitness components and distribution of two arctic-nesting goose populations. *Global Change Biology* 11:881-893.
- Fretwell, S. D., and H. L. Lucas. 1970. On territorial behaviour and other factor influencing habitat distribution in birds. *Acta Biotheoretica* 19:16-36.
- Fritz, H., and P. Duncan. 1994. On the Carrying Capacity for Large Ungulates of African Savanna Ecosystems. *Proceedings of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences* 256:77-82.
- Fryxell, J. 1995. Aggregation and migration by grazing ungulates in relation to resources and predators. Pages p. 257-273 in P. Arcese, editor. *Serengeti II. Dynamics, Management, and Conservation of an Ecosystem*. University of Chicago Press, Chicago.
- Gaillard, J. M. 1988. Contribution à la dynamique des populations de grands mammifères : l'exemple du chevreuil (*Capreolus capreolus*). PhD thesis : Ecology. Université Claude-Bernard, Lyon 1.
- Gaillard, J. M., D. Pontier, D. Allaine, J. D. Lebreton, J. Trouvilliez, and J. Clobert. 1989. An Analysis of Demographic Tactics in Birds and Mammals. *Oikos* 56:59-76.
- Gaillard, J. M., D. Delorme, J. M. Boutin, G. VanLaere, and B. Boisaubert. 1996. Body mass of roe deer fawns during winter in 2 contrasting populations. *Journal of Wildlife Management* 60:29-36.
- Gaillard, J. M., M. Festa-Bianchet, and N. G. Yoccoz. 1998. Population dynamics of large herbivores: variable recruitment with constant adult survival. *Trends in Ecology & Evolution* 13:58-63.
- Gaillard, J. M., M. Festa-Bianchet, N. G. Yoccoz, A. Loison, and C. Toigo. 2000. Temporal variation in fitness components and population dynamics of large herbivores. *Annual Review of Ecology and Systematics* 31:367-393.
- Gaillard, J. M., and N. G. Yoccoz. 2003. Temporal variation in survival of mammals: A case of environmental canalization? *Ecology* 84:3294-3306.

Gaillard, J.-M., A. Viallefont, A. Loison, and Festa-Bianchet. 2004. Assessing senescence patterns in populations of large mammals. *Animal Biodiversity and Conservation* 27:47-58.

Gaillard, J. M., A. Loison, M. Festa-Bianchet, N. G. Yoccoz, and E. Solberg. 2003. Ecological correlates of life span in populations of large herbivorous mammals. *Population and Development Review* 29:39-56.

Gaillard, J. M., N. G. Yoccoz, J. D. Lebreton, C. Bonenfant, S. Devillard, A. Loison, D. Pontier, and D. Allaine. 2005. Generation time: A reliable metric to measure life-history variation among mammalian populations. *American Naturalist* 166:119-123.

Gaillard, J.-M., P. Duncan, S. E. Van Wieren, A. Loison, F. Klein, and D. Maillard. 2008. Managing large herbivores in theory and practice: Is the game the same for browsing and grazing species? Pages 293-307. *The ecology of browsing and grazing*. Springer.

Gaillard, J. M., M. Hebblewhite, A. Loison, M. Fuller, R. Powell, M. Basille, and B. Van Moorter. 2010. Habitat-performance relationships: finding the right metric at a given spatial scale. *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences* 365:2255-2265.

Goss-Custard, J. D., R. A. Stillman, A. D. West, R. W. G. Caldow, and S. McGrorty. 2002. Carrying capacity in overwintering migratory birds. *Biological Conservation* 105:27-41.

Graham, M. D., I. Douglas-Hamilton, W. M. Adams, and P. C. Lee. 2009. The movement of African elephants in a human-dominated land-use mosaic. *Animal Conservation* 12:445-455.

Grange, S., P. Duncan, and J. M. Gaillard. 2009. Poor horse traders: large mammals trade survival for reproduction during the process of feralization. *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences* 276:1911-1919.

Grenfell, B. T., and B. F. Finkenstadt. 1998. Seasonality, stochasticity and population cycles. *Researches on Population Ecology* 40:141-143.

Grinnell, J. 1917. The niche-relations of the California thrasher. *Auk* 34:427-433.

Guschanski, K., L. Vigilant, A. McNeillage, M. Gray, E. Kagoda, and M. M. Robbins. 2009. Counting elusive animals: Comparing field and genetic census of the entire mountain gorilla population of Bwindi Impenetrable National Park, Uganda. *Biological Conservation* 142:290-300.

Hackel, J. D. 1999. Community conservation and the future of Africa's wildlife. *Conservation Biology* 13:726-734.

Hall, L. S., P. R. Krausman, and M. L. Morrison. 1997. The habitat concept and a plea for standard terminology. *Wildlife Society Bulletin* 25:173-182.

Hall-Martin, A. J., Basson, N. 1975. *Studies on the Biology and Productivity of the Giraffe, Giraffa camelopardalis*. University of Pretoria, Pretoria

Halle, S., and N. C. Stenseth 2000. *Activities patterns in small mammals*. Springer, Berlin.

Happold, D. C. D. 1978. Giraffe South of Niger-Benue River System. *Zeitschrift Fur Saugetierkunde-International Journal of Mammalian Biology* 43:239-242.

Harvey, P. H., and D. M. Pagel. 1991. *The Comparative Method in Evolutionary Biology*

Hassanin, A., A. Ropiquet, A. Gourmand, B. Chardonnet, and J. Rigoulet. 2007. Mitochondrial DNA variability in *Giraffa camelopardalis*: consequences for taxonomy, phylogeography and conservation of giraffes in West and central Africa. *Comptes Rendus Biologies* 330:265-274.

Hileman, B. 1992. Earth Summit Concludes with Agenda for Action, but Little Funding. *Chemical and Engineering News* 7-17.

Hofmann, R. R. 1989. Evolutionary steps of ecophysiological adaptation and diversification of ruminants: a comparative view of their digestive system *Oecologia* 78:443-457.

Hutchinson, G. 1957. Concluding remarks. *Quantitative Biology*. Pages 415-427. Cold Spring Harbour Symposium.

Innis, A. C. 1958. The behaviour of the giraffe, *Giraffa camelopardalis*, in the eastern Transvaal. *Proceedings of Zoological Society of London* 131:245-278.

International Giraffe Working Group. Disponible sur : <http://www.giraffeconservation.org/>

IUCN. 2011. Red List of Threatened Species. Disponible sur : www.redlist.org.

Jablonski, D. 1994. Extinctions in the fossil record. *Philosophical Transactions of the Royal Society London* 344:311-317.

Jachmann, H. 2001. *Estimating abundance of African Wildlife: an aid to adaptative management* Kluwer academic publishers.

Jachmann, H. 2002. Comparison of aerial counts with ground counts for large African herbivores. *Journal of Applied Ecology* 39:841-852.

James, A. N., K. J. Gaston, and A. Balmford. 1999. Balancing the Earth's accounts. *Nature* 401:323-324.

Janis, C. M., and K. M. Scott. 1987. The interrelationships of higher ruminant families, with special emphasis on the members of the Cervoidea. *American Museum Novitates*:2893:2891-2885.

Jarman, P. J. 1974. The Social Organisation of Antelope in Relation to Their Ecology. *Behaviour* 48:215-268.

Jerozolimski, A., and C. A. Peres. 2003. Bringing home the biggest bacon: a cross-site analysis of the structure of hunter-kill profiles in Neotropical forests. *Biological Conservation* 111, 415-425.

Jetz, W., C. Carbone, J. Fulford, and J. H. Brown. 2004. The scaling of animal space use. *Science* 306:266-268.

Johnson, D. H. 1980. The Comparison of Usage and Availability Measurements for Evaluating Resource Preference. *Ecology* 61:65-71.

Joppa, L. N., D. L. Roberts, and S. L. Pimm. 2010. How many species of flowering plants are there? *Proceedings of the Royal Society London*.

Jorgenson, J. T., M. Festabianchet, M. Lucherini, and W. D. Wishart. 1993. Effects of body size, population density, and maternal characteristics on age at first reproduction in bighorn ewes. *Canadian Journal of Zoology-Revue Canadienne De Zoologie* 71:2509-2517.

Kareiva, P. 1983. Influence of vegetation texture on herbivore populations: resource concentrations and herbivore movements in D. R. F. a. M. M., editor. *Variable Plants and Herbivores Natural and Managed Systems*. Academic Press, New York.

Kawa, R. 2000. *Ethologie de la girafe du Niger*. Rapport de consultation, Purnko, Niamey, Niger, 40p.

Kie, J. G. 1999. Optimal foraging and risk of predation: Effects on behavior and social structure in ungulates. *Journal of Mammalogy* 80:1114-1129.

Kingdon, J. 1979. *East African Mammals. An Atlas of Evolution in Africa. Volume III Part B (Large Mammals)*. The University of Chicago Press, Chicago, USA.

Kingdon, J. 1997. *The Kingdon Field Guide to African Mammals*. Academic Press, London.

Kiwia, H. D. 1989. Black rhinoceros (*Diceros bicornis*): population size and structure in Ngorogoro Crater, Tanzania. *African Journal of Ecology* 27:1-6.

Kleiber, M. 1947. Body size and metabolic rate. *Physiological Reviews*:27 (24): 511-541.

Klingel, H. 1965. Notes on the biology of the plains zebra. *East African Wildlife Journal* 8:86-88.

Kremen, C., A. M. Merenlender, and D. D. Murphy. 1994. Ecological Monitoring: A Vital Need for Integrated Conservation and Development Programs in the Tropics. *Conservation Biology* 8:388-397.

Kruuk, L. E. B., T. H. Clutton-Brock, K. E. Rose, and F. E. Guinness. 1999. Early determinants of lifetime reproductive success differ between the sexes in red deer. *Proceedings of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences* 266:1655-1661.

Lande, R. 1993. Risks of Population Extinction from Demographic and Environmental Stochasticity and Random Catastrophes. *American Naturalist* 142:911-927.

- Langvatn, R., and A. Loison. 1999. Consequences of harvesting on age structure, sex ratio and population dynamics of red deer *Cervus elaphus* in central Norway. *Wildlife Biology* 5:213-223.
- Largo, E., J. M. Gaillard, M. Festa-Bianchet, C. Toigo, B. Bassano, H. Cortot, G. Farny, B. Lequette, D. Gauthier, and J. P. Martinot. 2008. Can ground counts reliably monitor ibex *Capra ibex* populations? *Wildlife Biology* 14:489-499.
- Law, R. 1979. Ecological determinants in the evolution of life histories. *Population Dynamics*. Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- Le Pendu, Y., I. Ciofolo, and A. Gosser. 2000. The social organization of giraffes in Niger. *African Journal of Ecology* 38:78-85.
- Lebreton, J. D., G. Hemery, J. Clobert, and H. Coquillart. 1990. The Estimation of Age-Specific Breeding Probabilities from Recaptures or Resightings in Vertebrate Populations. I. Transversal Models. *Biometrics* 46:609-622.
- Lebreton, J. D., J. D. Nichols, R. J. Barker, R. Pradel, J. A. Spendelow, and H. Caswell. 2009. Modeling individual animal histories with multistate capture-recapture models. Pages 87-173. *Advances in Ecological Research* Academic Press, London.
- Lebreton, J. D., K. P. Burnham, J. Clobert, and D. R. Anderson. 1992. Modeling Survival and Testing Biological Hypotheses Using Marked Animals: A Unified Approach with Case Studies. *Ecological Monographs* 62:67-118.
- Leroy, R., M. N. de Visscher, O. Halidou, and A. Boureima. 2009. The last African white giraffes live in farmers' fields. *Biodiversity and Conservation* 18:2663-2677.
- Leuthold, B. M. 1979. Social organization and behaviour of giraffe in Tsavo East National Park. *African Journal of Ecology* 17:19-34.
- Leuthold, B. M., and W. Leuthold. 1972. Food habits of Giraffe in Tsavo National Park, Kenya. *East African Wildlife Journal* 10:129-141.
- Leuthold, W. 1977. African Ungulates: A comparative review of their ecology and behavioural ecology. Springer-Verlag, Berlin.
- Levin, S. A. 1992. The problem of pattern and scale in ecology. *Ecology* 73:1943-1967.
- Lhote, H. 1946. Observations sur la répartition actuelle et les mœurs de quelques grands mammifères du pays Touareg. *Mammalia* 10:26-56.
- Linnée, C. 1758. *Systema Naturae per Regna Tria Naturae, Secundum Classes, Ordines, Genera, Species cum Characteribus, Differentiis, Synonymis, locis*. Editio decima, reformata, Tom. I. Laurentii Salvii, Holmiae.
- Loison, A., J. M. Gaillard, C. Pelabon, and N. G. Yoccoz. 1999. What factors shape sexual size dimorphism in ungulates? *Evolutionary Ecology Research* 1:611-633.

Luxereau, A. 2004. Des animaux ni sauvages ni domestiques, les « girafes des Blancs » au Niger. *Anthropozoologica* 39(31):31–12.

Maillard, D., C. Calenge, T. Jacobs, J. M. Gaillard, and L. Merlot. 2001. The Kilometric Index as a monitoring tool for populations of large terrestrial animals: a feasibility test in Zakouma National Park, Chad. *African Journal of Ecology* 39:306-309.

Maillard. 2007. Indicators of ecological change: new tools for managing populations of large herbivores. *Journal of Applied Ecology* 44:634-643.

Manly, B. F. J., L. L. McDonald, D. L. Thomas, T. L. McDonald, and W. P. Erickson. 2002. Resource selection by animals. Statistical design and analysis for field studies. Kluwer Academic Publisher, London.

Marques, F. F. C., S. T. Buckland, D. Goffin, C. E. Dixon, D. L. Borchers, B. A. Mayle, and A. J. Peace. 2001. Estimating deer abundance from line transect surveys of dung: sika deer in southern Scotland. *Journal of Applied Ecology* 38:349-363.

Mauny, R. 1957. Répartition de la grande faune éthiopienne du Nord-Ouest africain du Paléolithique à nos jours. *Bulletin IFAN* 7:246-278.

Mayr, E. 1942. *Systematics and the Origin of Species*. Columbia University Press, New York.

McNab, B. K. 1963. Bioenergetics and the determination of home range size. *American Naturalist* 97:133-140.

Milner, J. M., E. B. Nilsen, and H. P. Andreassen. 2007. Demographic side effects of selective hunting in ungulates and carnivores. *Conservation Biology* 21:36-47.

Mitchell, A. W. 1977. Preliminary observations on the daytime activity patterns of lesser kudu in Tsavo National Park, Kenya. *East African Wildlife Journal* 15:199-206.

Mitchell, G., and J. D. Skinner. 2003. On the origin, evolution and phylogeny of giraffes *Giraffa camelopardalis*. *Transactions of the Royal Society of South Africa* 58:51 -73.

Mitchell, G., S. J. van Sittert, and J. D. Skinner. 2009. Sexual selection is not the origin of long necks in giraffes. *Journal of Zoology* 278:281-286.

Monod, T. 1963. The late tertiary and Pleistocene in the Sahara. Pages p. 117-229 in F. C. H. a. F. Bourlière, editor. *African Ecology and Human Evolution*. Aldine Publ. Co., Chicago..

Morellet, N., J. M. Gaillard, A. J. M. Hewison, P. Ballon, Y. Boscardin, P. Duncan, F. Klein, and D. Maillard. 2007. Indicators of ecological change: new tools for managing populations of large herbivores. *Journal of Applied Ecology* 44:634-643.

Morgan, S. 2010. Black rhinoceros (*Diceros bicornis*) Habitat selection and movement analysis. PhD thesis: Ecology. Westville.

Morou, B. 2010. Impacts de l'occupation des sols sur l'habitat de la girafe au Niger et enjeux pour la sauvegarde du dernier troupeau de girafes de l'Afrique de l'Ouest. Abdou Moumouni, Niamey.

Morris, D. W. 2003. Toward an ecological synthesis: a case for habitat selection. *Oecologia* 136:1-13.

Morrison, M., B. Marcot, and R. Mannan 1992. Wildlife-Habitat relationships. Concepts and applications. The University of Wisconsin Press.

Morrison, M. L. 2001. Invited paper: A proposed research emphasis to overcome the limits of wildlife-habitat relationship studies. *Journal of Wildlife Management* 65:613-623.

Moss, C. 1982. Portraits in the Wild. Houghton Mifflin Co, Boston.

Mysterud, A., F. J. Perez-Barberia, and I. J. Gordon. 2001. The effect of season, sex and feeding style on home range area versus body mass scaling in temperate ruminants. *Oecologia* 127:30-39.

Mysterud, A., N. C. Stenseth, N. G. Yoccoz, R. Langvatn, and G. Steinheim. 2001. Nonlinear effects of large-scale climatic variability on wild and domestic herbivores. *Nature* 410:1096-1099.

Mysterud, A., T. Coulson, and N. C. Stenseth. 2002. The role of males in the dynamics of ungulate populations. *Journal of Animal Ecology* 71:907-915.

Nations Unies, 2004. World Population to 2300 in W. P. t. a. United Nations, United Nations, 2004. Disponible sur : <http://www.un.org/en/>

Neff, D. J. 1968. The pellet-group count technique for big game trend, census, and distribution: a review. *Journal of Wildlife Management*:32:597-614.

Newby, J., and J. Fennessy. 2006. Contribution à l'élaboration d'une stratégie de conservation à long terme de la girafe (*Giraffa camelopardalis peralta*) au Niger. Page 18. ECOPAS.

Nje, J. N. 1983. Structure and dynamics of the giraffe population of the Waza National Park,

Norton-Griffiths, M. 1978. Counting animals, Nairobi.

Nouhou, H. 2005. Analyse des activités des ménages agricoles du Fakara au Niger : cas de trois villages. Msc Thesis : Ecology. Abdou Moumouni, Niamey.

Novacek, M. J. 2001. The Biodiversity Crisis: Losing What Counts The New Press.

Obanda, V., D. Ndeereh, D. Mijele, I. Lekolool, S. Chege, F. Gakuya, and P. Omondi. 2008. Injuries of free ranging African elephants (*Loxodonta africana africana*) in various ranges of Kenya. *Pachyderm*:54-58.

Ogilby, W. 1836. Generic distinctions of ruminantia. Proceedings of the Zoological Society of London 1836 131-139.

ONU. 2011. Disponible sur : <http://www.un.org/fr/>

Osborn, F. V. 2004. Seasonal variation of feeding patterns and food selection by crop-raiding elephants in Zimbabwe. *African Journal of Ecology* 42:322-327.

Owen, R. 1868. *Anatomy of Vertebrates. Mammalia*. Longmans, Green, R. E., London.

Owen-Smith, N. 1988. The influence of very large body size on ecology. *Megaherbivores*. Cambridge University Press, Cambridge

Owen-Smith, N., and M. G. L. Mills. 2007. Predator–prey size relationships in an African large-mammal food web. *British Ecological Society*. p. 173–183.

Packer, C., H. Brink, B. M. Kissui, H. Maliti, H. Kushnir, and T. Caro. 2011. Effects of Trophy Hunting on Lion and Leopard Populations in Tanzania. *Conservation Biology* 25:142-153.

Palazy, L., C. Bonenfant, J. M. Gaillard, and F. Courchamp. 2011. Cat Dilemma: Too Protected To Escape Trophy Hunting? *Plos One* 6.

Panagis, K., and P. E. Stander. 1989. Marking and subsequent movement patterns of Springbok lambs in the Etosha National Park, South West Africa/Namibia *Madoqua* 16(11): 71-73.

Pearce, F. 1992. Last Chance to Save the Planet. *New Scientist* 45:24-28.

Pearce, D. W., and D. A. Giles. 1993. Capital theory and the measurement of sustainable development: an indicator of “weak” sustainability.

Pearce, J., and S. Ferrier. 2001. The practical value of modelling relative abundance of species for regional conservation planning : a case study. *Biological conservation* 98:33-43.

Pellew, R. A. 1983. The giraffe and its food resource in the Serengeti. I. Composition, biomass and production of available browse. *African Journal of Ecology* 21:241-267.

Pellew, R. A. 1984a. Food consumption and energy budgets of the giraffe. *Journal of Applied Ecology* 21:141-159.

Pellew, R. A. 1984b. Giraffe and Okapi. Pages p 534-541 in D. W. Macdonald, editor. *The Encyclopaedia of Mammals*. George Allen and Unwin, London.

Pereira, H. M., P. W. Leadley, V. Proença, R. Alkemade, J. P. W. Scharlemann, J. F. Fernandez-Manjarrés, et al. 2010. Scenarios for Global Biodiversity in the 21st Century. *Science* 330:1496-1501.

- Perez-Barberia, F. J., and I. J. Gordon. 1999. The functional relationship between feeding type and jaw and cranial morphology in ungulates. *Oecologia* 118:157-165.
- Pettorelli, N., J.-M. Gaillard, P. Duncan, J. P. Ouellet, and G. Van Laere. 2001. Population density and small-scale variation in habitat quality affect phenotypic quality in roe deer. *Oecologia* 128:400-405.
- Plumptre, A. J. 2000. Monitoring mammal populations with line transect techniques in African forests. *Journal of Applied Ecology* 37:356-368.
- Plumptre, A. J., and V. Reynolds. 1994. The Effect of Selective Logging on the Primate Populations in the Budongo Forest Reserve, Uganda. *Journal of Applied Ecology* 31:631-641.
- PNUE-CMSC. 2001. Protected Areas Snapshot. Programme des Nations Unies pour l'environnement-Centre mondial de surveillance de la conservation de la nature.
- Poché, R. M. 1976. Seasonal distribution and reproduction in Artiodactyla from southwestern Niger. *Nigerian Field* 41:31-40.
- Porter, W. P., S. Budaraju, W. E. Stewart, and N. Ramankutty. 2000. Calculating climate effects on birds and mammals: Impacts on biodiversity, conservation, population parameters, and global community structure. *American Zoologist* 40:597-630.
- Porter, W. P., J. L. Sabo, C. R. Tracy, O. J. Reichman, and N. Ramankutty. 2002. Physiology on a landscape scale: Plant-animal interactions. *Integrative and Comparative Biology* 42:431-453.
- Pratt, D. M., and V. H. Anderson. 1979. Giraffe Cow-Calf Relationships and Social Development of the Calf in the Serengeti. *Zeitschrift Fur Tierpsychologie-Journal of Comparative Ethology* 51:233-251.
- Pratt, D. M., and V. H. Anderson. 1985. Giraffe social behavior. *Journal of Natural History* 19: 771-781.
- Primack, R. B. 2006. *Essentials of Conservation Biology*. Sinauer Associates.
- PURNKO. 1995. Plan d'aménagement de la zone de transition de la Réserve de Biosphère du W: zone girafe. *Eléments de diagnostic*, 52p.
- Pyke, G. H. 1984. Optimal Foraging Theory: A Critical Review. *Annual Review of Ecology and Systematics* 15:523-575.
- Raup, D. M., and J. J. Sepkoski. 1982. Mass extinctions in the marine fossil record. *Science* 215:1501-503.
- Relyea, R. A., R. K. Lawrence, and S. Demarais. 2000. Home range of desert mule deer: Testing the body-size and habitat-productivity hypotheses. *Journal of Wildlife Management* 64:146-153.

- Rode, K. D., P. I. Chiyo, C. A. Chapman, and L. R. McDowell. 2006. Nutritional ecology of elephants in Kibale National Park, Uganda, and its relationship with crop-raiding behaviour. *Journal of Tropical Ecology* 22:441-449.
- Royle, J. A., and J. D. Nichols. 2003. Estimating abundance from repeated presence-absence data or point counts. *Ecology* 84:777-790.
- Saadou, M. 1984. Contribution à l'étude de la flore et de la végétation des milieux drainés de l'ouest de la République du Niger, de la longitude de Dogondoutchi au fleuve Niger. PhD thesis : Ecology. Université de Bordeaux II
- Saadou, M. 1996. La végétation du Niger. *Environnement du Niger*. Pages 66.
- Scheepers, J. L. 1992. Habitat selection and demography of a giraffe population in northern Namib desert, Namibia. Pages 223-228 in J. J. F. Spitz, G. Gonzalez et S. Aulangnier, editor. *Ongulés/Ungulates*. SFPEM-IRGM publications, Toulouse.
- Schipper, J., J. S. Chanson, F. Chiozza, N. A. Cox, M. Hoffmann, V. Katariya et al. The status of the world's land and marine mammals: Diversity, threat, and knowledge. *Science* 322:225-230.
- Scholte, P., A. Al-Okaishi, and A. S. Suleyman. 2011. When conservation precedes development: a case study of the opening up of the Socotra archipelago, Yemen. *Oryx* 45:401-410.
- Schomber, H. W., and D. Kock. 1961. Wildlife Protection and Hunting in Tunisia. *African Wild Life* 15:137-150.
- Schwarz, C. J., and G. A. F. Seber. 1999. Estimating animal abundance: Review III. *Statistical Science* 14:427-456.
- Seymour, R. 2002. Patterns of Subspecies Diversity in the Giraffe, *Giraffa camelopardalis* (L. 1758): Comparison of Systematic Methods and their Implications for Conservation Policy. . PhD thesis : Zoology. University of Kent.
- Shorrocks, B., and D. P. Croft. 2009. Necks and networks: a preliminary study of population structure in the reticulated giraffe (*Giraffa camelopardalis reticulata* de Winston). *African Journal of Ecology* 47:374-381.
- Sidney, J. 1965. The past and present distribution of some African ungulates. *Transactions of the Zoological Society of London* 30:1-410.
- Simmons, R. E., and L. Scheepers. 1996. Wining by a neck: sexual selection in the evolution of giraffe. *American Naturalist* 148:771-786.
- Simmons, R. E., and R. Altwegg. 2010. Necks-for-sex or competing browsers? A critique of ideas on the evolution of giraffe. *Journal of Zoology* 282:6-12.

Skinner, J. D., and R. H. N. Smithers 1990. The Mammals of the Southern African Subregion. University of Pretoria.

Solberg, E. J., B. E. Saether, O. Strand, and A. Loison. 1999. Dynamics of a harvested moose population in a variable environment. *Journal of Animal Ecology* 68:186-204.

Stearns, S. C. 1983. The Influence of Size and Phylogeny on Patterns of Covariation among Life-History Traits in the Mammals. *Oikos* 41:173-187.

Stearns, S. C. 1992. The Evolution of Life Histories. Oxford University Press, Oxford.

Steffen, W. 2004. Global Change and the Earth System: a Planet under Pressure. Springer-Verlag, New York.

Stephens, D. W., and J. R. Krebs. 1986. On the optimal use of a patchy environment. *American Naturalist* 100:603-609.

Stott, K. J. 1959. Giraffe intergradation in Kenya. *Journal of Mammalogy* 40 (42) 251.

Strandga, H. 1967. Reliability of the Petersen Method Tested on a Roe-Deer Population. *Journal of Wildlife Management* 31:643-&.

Struhsaker, T. T., and J. F. Oates. 1995. The biodiversity crisis in southwestern Ghana. *African Primates*:1:5-6.

Sundevall, C. J. 1842. Kongl. Vetenskaps-Akad. Handlingar.

Surau, J. P., and O. Dovi. 2006. The giraffes of Niger are the last in all West Africa. IUCN Bi-Annual Newsletter of the International Giraffe Working Group (IGWG) 1:8-9.

Surau, J. P., and O. Dovi. 2007. Giraffes of Niger-2006 census. Bi-Annual Newsletter of the International Giraffe Working Group (IGWG) 1:12-13.

Surau, J. P. 2008. Giraffes of Niger, 2007 census and perspectives. Bi-Annual Newsletter of the International Giraffe Working Group (IGWG) 1:4-7.

Surau, J. P. 2009. 200 Giraffes in Niger! Bi-Annual Newsletter of the International Giraffe Working Group (IGWG) 1:32-33.

Sutherland, W. J. 1999. Mammals. Page 260 in Cambridge, editor. Ecological census techniques A Handbook. W.J. Sutherland, Cambridge.

Swainson, W. 1835. A Treatise on the Geography and Classification of Animals, London.

Synge, H., and S. Howe. 1999. Parks for biodiversity : policy guidance based on experience in ACP countries. Page p. 119 in E. Commission/IUCN, editor, Gland.

Synge, H., and S. Howe. 1999. Parks for biodiversity : policy guidance based on experience in ACP countries. Page p. 119 in E. Commission/IUCN, editor, Gland.

- Thomas, D. L., and E. J. Taylor. 1990. study designs and tests for comparing resource use and availability. *Journal of Wildlife Management* 54:322-330.
- Thomas, O. 1898. On a new subspecies of giraffe from Nigeria. *Proceedings of the Zoological Society of London* 1898:39-41.
- Timko, J. A., and J. L. Innes. 2009. Evaluating ecological integrity in national parks: Case studies from Canada and South Africa. *Biological Conservation* 142:676-688.
- Tobler, I., and B. Schwierin. 1996. Behavioural sleep in the giraffe (*Giraffa camelopardalis*) in a zoological garden. *Journal of Sleep Research*:5:21-32.
- Toigo, C., and J. M. Gaillard. 2003. Causes of sex-biased adult survival in ungulates: sexual size dimorphism, mating tactic or environment harshness? *Oikos* 101:376-384.
- Trivers, R. L. 1972. Parental investment and sexual selection. Pages 136-179 in B. Campbell, editor. *Sexual selection and the descent of man*, Chicago.
- Trivers, R. L., and D. E. Willard. 1973. Natural Selection of Parental Ability to Vary the Sex Ratio of Offspring. *Science* 179:90-92.
- UICN, 1999. Parks for biodiversity : policy guidance based on experience in ACP countries. Prepared par la Commission Mondiale pour les Aires Protégées pour l'UICN, Brussels ,Gland,and Cambridge.
- UNEP, 2011. Disponible sur <http://www.unep.org/>.
- van der Jeugd, H. P., and H. H. T. Prins. 2000. Movements and group structure of giraffe (*Giraffa camelopardalis*) in Lake Manyara National Park, Tanzania. *Journal of Zoology* 251:15-21.
- Vincent, J. P., J. M. Gaillard, and E. Bideau. 1991. Kilometric index as biological indicator for monitoring forest deer populations. *Acta Theriologica*:36:315-328.
- Vitousek, P. M., J. D. Aber, R. W. Howarth, G. E. Likens, P. A. Matson, D. W. Schindler, W. H. Schlesinger, and D. Tilman. 1997. Human alteration of the global nitrogen cycle: Sources and consequences. *Ecological Applications* 7:737-750.
- Western, D., S. Russell, and I. Cuthill. 2009. The Status of Wildlife in Protected Areas Compared to Non-Protected Areas of Kenya. *Plos One* 4.
- White, C. R., P. Cassey, and T. M. Blackburn. 2007. Allometric exponents do not support a universal metabolic allometry. *Ecology* 88:315-323.
- Whitesides, G. H., J. F. Oates, S. M. Green, and R. P. Kluberanz. 1988. Estimating Primate Densities from Transects in a West African Rain Forest: A Comparison of Techniques. *Journal of Animal Ecology* 57:345-367.

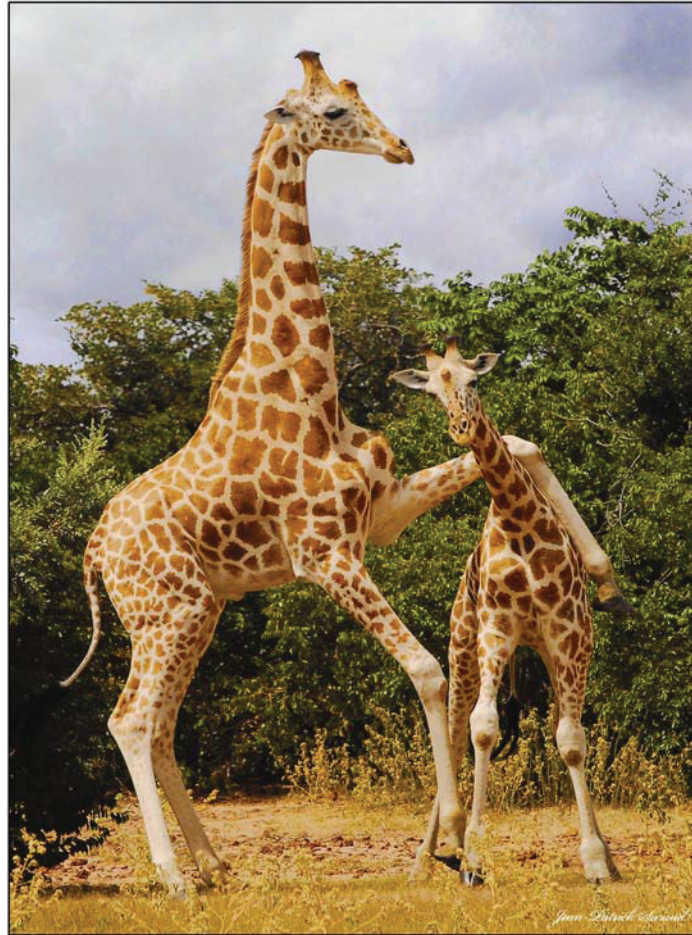
Wilson, D. E., and R. A. Mittermeier 2011. Handbook of the mammals of the world. Lynx Edicions, Barcelona.

Winnemiller, K. O., and K. A. Rose. 1992. Patterns of life-history diversification in North American fishes: implication for population regulation. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 49:2196-2218.

Woolnough, A. P., C. N. Johnson, and A. B. Horsup. 1998. The short-term effect of radio-packages on a free-ranging large herbivore, the northern hairy-nosed wombat. *Wildlife Research* 25:561-565.

Young, T. P., and L. A. Isbell. 1991. Sex Differences in Giraffe Feeding Ecology: Energetic and Social Constraints. *Ethology* 87:79-89.

Annexes



Annexe 1

LE PHVA

Modélisation des stratégies de conservation de la
population des girafes d'Afrique de l'Ouest

Vortex Simulation Model

***Vortex* Population Modelling Working Group**

Model input group : Jean-Patrick Suraud, Philippe Chardonnet, Isabelle Ciofolo, Julian Fennessy, Rick Brenneman, Carlo Paolini, Djibo Saley Boubacar

Modellers: Kristin Leus and Arnaud Desbiez

***Vortex* Simulation Model**

Computer modeling is a valuable and versatile tool for quantitatively assessing risk of decline and extinction of wildlife populations, both free ranging and managed. Complex and interacting factors that influence population persistence and health can be explored, including natural and anthropogenic causes. Models can also be used to evaluate the effects of alternative management strategies to identify the most effective conservation actions for a population or species and to identify research needs. Such an evaluation of population persistence under current and varying conditions is commonly referred to as a population viability analysis (PVA).

The simulation software program *Vortex* (v9.92) was used to examine the viability of the giraffe population in Niger. *Vortex* is a Monte Carlo simulation of the effects of deterministic forces as well as demographic, environmental, and genetic stochastic events on wild or captive small populations. *Vortex* models population dynamics as discrete sequential events that occur according to defined probabilities. The program begins by either creating individuals to form the starting population or importing individuals from a studbook database and then stepping through life cycle events (e.g., births, deaths, dispersal, catastrophic events), typically on an annual basis. Events such as breeding success, litter size, sex at birth, and survival are determined based upon designated probabilities that incorporate both demographic stochasticity and annual environmental variation. Consequently, each run (iteration) of the model gives a different result. By running the model hundreds of times, it is possible to examine the probable outcome and range of possibilities. For a more detailed explanation of *Vortex* and its use in population viability analysis, see Lacy (1993, 2000) and Miller and Lacy (2005). PVA using *Vortex* predicts the future fate of populations without bias for well-studied populations (Brook *et al.* 2000). The type of input parameters needed by *Vortex* to run simulation models can be found in

Annexe 8.

Introduction

The aim of the simulation model constructed for the population of West-African or Nigerien giraffes (*Giraffa camelopardalis peralta*) in Niger was to test the viability of the population under three different circumstances:

1. Status quo: the levels of threat remain as they are today and there is no continued loss of habitat
2. Habitat loss: habitat loss continues into the future

3. Management actions are undertaken to mitigate the effects of the highest severity catastrophes and/or to create a metapopulation whereby the population in the zone giraffe functions as the source to set up one or more additional populations within and/or outside Niger.

The overall goal for the population (and therefore the definition of “viable” in the context of this model) was considered to be :

- **A close to 0% probability of extinction for the total population of West-African or Nigerian giraffes.**
- **Positive intrinsic growth rate of the population**
- In the short term, the population develops such that the **subspecies moves from being** Endangered (Fennessy and Brown, 2008) **to Vulnerable** according to the 2001(version 3.1) Categories and Criteria of the IUCN Red List of Threatened Species (IUCN, 2001). (Naturally in the longer term the goal would be for the subspecies to be no longer threatened at all)

During the PHVA workshop the modellers interacted intensively with the model input group and took into account results from the other working groups, as well as published literature and reports, to design a baseline model that simulated the giraffe life history from 1996 till the present (to validate the model). This could then later be adapted to test the future viability of the giraffe population under different circumstances, according to scenarios suggested by the modelling input group. Further post workshop modelling was carried out by Kristin Leus and Arnaud Desbiez, in email communication with the modelling input group.

Baseline Model Parameters

A first baseline model was constructed with the aim to represent the development of the population in the zone giraffe from 1996 until 2008 under the then levels of threat and without catastrophes (the population appears to have undergone no catastrophes during this period). The input parameters were derived from previously published literature and reports and from discussions with the model input group, incorporating recently gathered unpublished information as well as general experience.

This baseline model was then tested to check if the various reproduction and mortality related parameters entered caused the model population to behave more or less like the observed wild population during the same time period. Only once a validated baseline scenario has been constructed can complexity be built into the model to really test the viability of the population into the future with some level of reliability.

General Model Parameters

Number of iterations: 500

Number of years: 11 (*from 1997 till 2008; see below for clarification*)

Extinction definition: *Only one sex remains*

Number of populations: *Single population*

Reproductive Parameters

Mating system: Polygyny (short term)

Inter-individual associations in the Niger giraffe population were, as in many other giraffe populations, shown to be generally of short duration (except for mother young bonds) (Le Pendu et al., 2000: a giraffe observed on four consecutive days was still accompanied on the fourth day by 25% and 32% of the individuals it was with on the first day, during the rainy and the dry seasons respectively). The mating system chosen for the model was therefore short term polygyny, meaning that one male will mate with several females within a year, but that the individual females with which he mates may change from year to year (rather than one male staying “faithful” to the same females year after year).

Reproductive lifespan: Females (5-25), Males (7-25)

During the population censuses, which were based on photo-identification (Suraud and Dovi, 2006), the following age classes were counted:

- Newborn (girafons): <6 months old
- Young (Jeunes): 6-18 months old
- Subadults: 18 months to 4 years old
- Adults: >4 years old

For the model, the model input group thought it likely that females in the wild start breeding at the age of 5, but that males, due to intermale competition, will only successfully breed from the age of 7 onwards.

The oldest known female at the moment is likely about 20 yrs old. Age is difficult to estimate for those animals that were first encountered as adults. However, mortality was generally very low in this population, at least over the observed time frame of 1996 till 2008, and it was felt that the maximum age of reproduction for males and females in this population could well be 25 yrs. The oldest male giraffe of known birth date (any subspecies) to have bred in zoos that are a member of the European Association of Zoos and Aquaria was 25 yrs. The oldest captive female of known birth date to have reproduced in this population was 27 (Damen, in press).

In order to avoid confusion between age classes according to the census methods and those according to Vortex, from now on the following codes will be used:

- CAF = Adult females according to the census method
- VAF = Adult females according to Vortex model
- CAM = Adult males according to the census method
- VAM = Adult males according to Vortex model
- CNA= Non-adults according to the census method
- VNA = Non-adults according to the Vortex model

Maximum number of young per year: 1

Although giraffes as a species can have twins, this is rare and it has not yet been observed in the Niger population. Twinning was not included in the model.

Sex ratio at birth (in % males): 65

The census work from 1996 till 2007 appears to show a male biased sex ratio at birth for the giraffe population in Niger. For example, Ciofolo et al. (2000) counted 35 births between September 1996 and May 1999, of which 21 were males and 14 females (=60% males). This trend seems to have continued in more recent years (see Table 1). A male biased sex ratio has also been observed in other wild giraffe populations (Owen-Smith, 1988). A sex ratio at birth of 65% males was used for the baseline model.

Table 1: Sex ratio recorded among observed calves (0-6 months old) during censuses.

Reference	Year/Period	Male calves	Female calves
Ciofolo et al. (2000)	Sep 1996 – May 1999	21	14
Ciofolo and Le Pendu (1998)	1997	10	6
Ciofolo Annexe 8	1998	8	7
Ciofolo Annexe 8	1999	10	9
Suraud and Dovi (2006)	2005	7	2
Suraud and Dovi (2007)	2006	9	5
ASGN (2008)	2007	15	3

Percentage of adult females breeding per year: 60%

Giraffes have a gestation length of 15 months. In Niger, births can occur throughout the year although there appear to be two slight calving peaks during January/February and May (Ciofolo et al., 2000; Newby et al, 2006). Ciofolo and Pendu (1998) and Ciofolo et al. (2000) observed 13 females that gave birth twice in the period of September 1996 till May 1999, with a mean interbirth interval (IBI) of 18.9 ± 2.6 months. This may to some extent be an underestimation because the short period of study precluded observing potentially longer interbirth intervals. In other populations the period of anestrus after the birth of a calf has been described to be 7 to 9 months (Hall-Martin and Skinner, 1978; Pellew, 1983). This would mean that the IBI in cases where the calf survives would be 22 months. We can consider that the shortest IBI from a successful birth and rearing to the next birth is 18 months. Dagg and Foster (1976) report in Nairobi National Park, Kenya, an IBI of 17 months if the calf died within a month after birth (n=5), 21-22 months when the calf lived for about three months (n=4) and 23-24 months in the three cases where the first young survived. In Hall-Martin and Skinner (1978) we find reference to an IBI of 18.8 months in the Serengeti and 19.9 months in Timbavati.

A small number of females will have a longer than average IBI, but a small number will also have a shorter one, for example if the calf is lost at, or soon after birth.

For the model we assumed an average IBI of 20 months which leads to a percentage females breeding of 60% (%F = $100/\text{IBI}$ in years), with an environmental variation of 3%, meaning that in the majority of years 54-66% of the females will give birth (corresponding to an IBI of 22 to 18 months).

Age specific mortality rates

The census counts did not allow mortality rates to be reliably calculated. However, from the end of 1996 onwards, mortality rates in this population appear to have been very low. Several observations support this assumption:

- No large natural predators remain in the area and there is therefore no natural predation pressure on this population. A small number of giraffes gets killed in accidents with cars.
- Since 1996, poaching has been largely stopped with a lot of effort put towards social development and education/awareness activities among the local human population (e.g. PURNKO, 1998; Suraud and Dovi, 2006)
- Very few deaths have been recorded: During 32 months of study, Ciofolo et al. (2000) recorded 6 deaths in a population that grew from 49 to 79 animals in that time frame. All six were males, three were younger than 6 months, one was 5 and two were older than 7 years. Between the 2005 and 2006 census, the Nigerian environment minister listed only 5 deaths (Suraud and Dovi, 2007).
- High "recapture" rates, for example 96% of the individuals photographed in 2005 were identified again in 2006 (Suraud and Dovi, 2007).
- Very high growth rate: Table 2 shows the increase in total population size according to the yearly censuses. This translates into an overall yearly growth rate of 10-12%:
 - o From 1996-2008: $\Lambda = (200/49)^{1/12} = (4.08)^{0.083} = 1.12 = (200/51)^{1/12}$
 - o From 1997-2007: $\Lambda = (175/61)^{1/10} = (2.87)^{0.1} = 1.11 = (175/63)^{1/10}$ (1996 to 1997 was an unusual period because no young animals were left in Sept 1996 and therefore more females could have bred in that period than in an average year (70% of females gave birth in a period of 15 months between Sep 1996 and Dec 1997 (Ciofolo and Le Pendu, 1998)); 2007 was the last completed census year at the time of the PHVA)
 - o From 1997-2006: $\Lambda = (144/61)^{1/9} = (2.36)^{0.11} = 1.10 = (144/63)^{1/9}$ (2006 was the last complete census year)

Table 2 Total number of individuals counted during the yearly censuses (for sources see Newby et al., 2006 for years 1996-2004; Le Pendu et al., 2000 for second set for second set of values 1996-1999; Suraud and Dovi, 2006&2007 for years 2005-2006; ASGN, 2008 for year 2007). The census did not always take place at the exactly same time of year, or for the same length of time, and did not always use the same method.

	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
#	49	61	68	81	87	99	115	NR	NR	135	144	164	~200**
Indiv.	51 ***	63 ***	67 ***	81 ***								(175)*	

NR = non reliable counts that year

* some census records were lost that year – there were records for 164 individuals but there were in reality likely as many as 175 giraffes (ASGN, 2008).

** census still in progress at time of PHVA but likely there will be at least 200 (J.-P. Suraud, pers. comm.)

*** counts by Le Pendu et al. (2000) which among others included 2 giraffes that regularly came from Mali

Taking the above into account, and in discussion with the modelling input group, the following mortality rates were used for the baseline model:

Females Age 0-1: 5
 Ages 1-5: 1
 After 5:
 $((((A \geq 5) \text{AND} (A < 15)) * 2) + (((A \geq 15) \text{AND} (A < 20)) * 6) + (((A \geq 20)) * 15))$
 (meaning that mortality is 2% from 5 to 14yrs; 6% from 15 to 19 years and
 15% from 20 years onwards)

Males Age 0-1: 6
 Ages 1-5: 1
 Ages 5-7: 3
 After 7:
 $((((A \geq 7) \text{AND} (A < 15)) * 3) + (((A \geq 15) \text{AND} (A < 20)) * 8) + (((A \geq 20)) * 25))$
 (meaning that mortality is 3% from 5 to 14yrs; 8% from 15 to 19 years and
 20% from 20 years onwards)

Males are thought to have higher mortalities than females because:

- In species with sexual dimorphism there often tends to be a higher pre-weaning mortality for males, especially in environments where resources are limited. It takes more from a lactating female to produce a fast growing male calf than a slower growing female calf. Therefore as soon as resources become scarce, male calves will have a higher probability of dying than females because they need more resources to survive this fast growth period (Clutton-Brock et al., 1982; Clutton-Brock et al., 1985; Loison et al., 1999). In the baseline model the mortality of first year males was therefore made slightly larger than that of females.
- Males tend to have relatively high frequencies of agonistic interactions with other males (Le Pendu et al., 2000); it was felt that this could lead to somewhat higher mortalities for males compared to females from the age of 5 onwards.
- Despite a male biased sex ratio at birth, the ratio of CAF to CAM tended to be female biased in the Niger population (Table 3).

Table 3 Numbers of adult (= +4yrs old) males and females counted during the yearly censuses (Newby et al., 2006 for years 1996-2004; Suraud and Dovi, 2006&2007 for years 2005-2006; ASGN, 2008 for year 2007).

	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Females	23	23	NA	26	NA	NA	26	NR	NR	57	50	59	NYA
Males	18	16	NA	18	NA	NA	24	NR	NR	36	36	41	NYA

NA = not available; NYA = not yet available; NR = non reliable data for that year

This might be partially explained by the fact that older adult males tend to travel alone and might therefore be less likely to be spotted during censuses, but may also be due to a higher mortality of males.

Percentage males in the breeding pool: 90%

Based on the limited studies so far, the giraffes in Niger do not appear to form stable social units with particular individuals remaining together for longer periods of time. This social promiscuity might mean that many different males all get to breed within one year. Studies on this social aspect in other giraffe populations are also very limited so far. They often, but not always, form loose social relationships and the resources and other characteristics of the particular area involved probably play an important role.

If we enter the percentage males in the breeding pool as 90%, this means that on average 90% of the adult males (= adult in Vortex terms = 7 yrs) could potentially sire offspring. How many will really sire offspring depends also on other factors such as the number of adult females in the breeding pool each year. With 90% of adult males in the breeding pool this means in our case that 35.8% will actually sire offspring and that those that do have on average 1.3 female mates.

A very small percentage of males in the breeding pool could have genetic and possibly also demographic consequences. It would mean that very few of the adult males would actually be siring offspring, with many females each, meaning that the genes of only a few males will be passed to the next generation and that relatedness among the descendant population would increase faster (which is relevant if one is interested in the gene diversity retained or the effects of inbreeding depression). Furthermore, if from a social structure point of view there is a limit to the number of females a male can typically mate with, some females might not get bred if the number of males that would be required to breed all females is higher than the % males in the breeding pool.

Even though there are no data available to indicate what would be the true percentage of males in the breeding pool for the Niger population, by entering a high value we limit the probability that females are left without a partner and from a genetic point of view we are modelling a case where a high proportion of the male genes are passed on to the next generation.

Initial population size (N): 61 (at specified age distribution)

From September 1996 onwards, the population has shown a steady increase and the situation in terms of both biological and human factors (poaching largely stopped, development and education activities in the local communities, no major droughts) is representative for the situation today. It therefore makes sense to model this period in the baseline model in order to validate if the model can produce such results.

However, in September 1996 the population had just experienced the last capture incident which took place from April to the end of August of 1996 (Ciofolo, Annex 4). Of the 49 animals, only 20% were non-adults, of which no individuals less than 18 months old. In addition, because many young animals were lost, a number of females probably came into oestrus sooner than normal, which may have resulted in a higher proportion of females breeding in the period between September 1996 and December 1997. Indeed, at least 70% of females appear to have given birth during this period of 15 months (Ciofolo and Le Pendu, 1998), leading to a very high growth rate in that period (27%).

For these reasons, it was decided to take the census of 1997 as the starting population size:

61 animals in total of which 14 individuals of 0-18 months (6 females and 8 males), 8 individuals of 18 months to 4 yrs (3 females and 5 males) and 39 animals older than 4 years (23 females and 16 males) (meaning that 37% of population is 4 yrs or younger).

No individuals younger than 18 months were observed in September 96 but females may have been pregnant already at that time. There is normally a small birth peak in the period December/January. If 50% of adult females of 96 (those that were pregnant before the capture and didn't either get captured themselves or lost the foetus due to stress) were to have given birth then, that would have meant 11 calves born in December 1996/January 1997 and they would be 11-12 months in December 1997 and therefore still belong to age class 1. Only calves of mothers that became pregnant before the capture and gave birth between September 1996 and November 1996 would have reached the second age class by the time of the census in December 1997, and those are likely to be very few individuals. Mothers that became pregnant earlier than normal because they lost a young calf as a consequence of the capture intervention produced calves that belong to age class 1 in December 1997.

These data and assumptions were used to construct the specified age distribution shown in Table 4.

Table 4: Specified age distribution for initial population size used in baseline model

Age Class	Females	Males
1 (0-1yrs)	5	6
2	1	2
3	1	2
4	2	3
5	1	1
6	2	2
7	2	1
8	2	2
9	1	1
10	2	0
11	1	2
12	2	1
13	1	1
14	2	0
15	2	1
16	1	0
17	1	1
18	0	0
19	1	1
20	0	0
21	1	0
22	0	1
23	1	0
24	0	1
25	0	0

Carrying capacity (K): 300

Though hard data are lacking, the carrying capacity of the zone giraffe is thought to be 300 individuals.

Inbreeding depression:

Molecular genetic studies have found the Niger Giraffe population to contain relatively high levels of heterozygosity (gene diversity) compared to other giraffe populations (Brenneman Annex 5). Nevertheless, a few observations indicate that some level of inbreeding is likely to be present in the population:

- Molecular genetics research found evidence of a bottleneck, an effective population size of 60 (with a true size of about 200) and a fixation index F_{IS} that indicates the population may have background inbreeding levels approaching that of full cousin or even closer (Brenneman, Annex 5)
- We know that at least in 1996, the population dropped to at least 49 individuals

The modelling input group expects/estimates that inbreeding does exist in the Niger giraffe population and may be in the range of 0.05 – 0.08.

Apart from causing a reduction in heterozygosity, inbreeding may also cause decreased fitness in inbred individuals of naturally outbreeding species, a phenomenon which is called inbreeding depression (Frankham et al. 2002). The latter may express itself in many forms, some of which may not be immediately obvious unless one consciously sets out to investigate them, e.g. reduced juvenile survival, reduced adult survival, less successful mate acquisition, lower social dominance ranking of inbred individuals, reduced fertility, increased bilateral asymmetry, increased disease susceptibility etc. Inbreeding depression occurs more often than not and numerous wild populations have now been shown to suffer from inbreeding depression (Crnokrak and Roff 1999; Frankham et al., 2002). Inbred populations that appear to have healthy growth rates are not necessarily free from inbreeding depression, and inbred populations experiencing inbreeding depression are not guaranteed to go extinct. Furthermore, at low to moderate levels of inbreeding, inbreeding depression is usually low to moderate as well. However, there appears to be a threshold effect whereby there is a marked and incremental increase in risk of extinction due to inbreeding depression from intermediate levels of inbreeding onwards (Frankham, 1995). Inbreeding effects also tend to be more severe in harsher environments. Populations that appeared fine may therefore start to struggle in times of increased stress from whatever source (Frankham, 1995). Replicate populations of the same species, inbred to the same degree will show different degrees of inbreeding depression, possibly including no inbreeding depression or even increased fitness with inbreeding (e.g. Lacy et al. 1996), but the probability that inbreeding reduces fitness is higher than that it does not. Inbreeding depression therefore increases *the probability* of extinction, especially when populations remain small and moderate levels of inbreeding have been reached. Current scientific evidence suggests that, certainly when we deal with highly threatened populations, it would be foolish not to take the possible existence and effects of inbreeding depression into account (Frankham and Ralls, 1998).

Inbreeding depression in terms of reduced survival during the first 30 days and the first year of life was shown to be present in captive giraffes (Bingaman Lackey, 2003). Although

modestly present at lower inbreeding levels, it became particularly prominent from the level of full sibling matings onwards (inbreeding coefficient of 0.25 and above). For example, first year mortality in females in North American studbook institutions went from about 27% at no inbreeding, to more than 35% at inbreeding levels of 0.25 to 0.375 and close to 50% at more than 0.375. In European institution it went from about 19% at no inbreeding to about 40% for 0.25 to 0.375, and more than 60% at 0.375 and above.

Because no information is available on the presence or absence or the way of manifestation of inbreeding depression in the Niger giraffe population, and on how many lethal equivalents are present per diploid individual in this population, inbreeding depression was included in the Vortex model with the default settings (Miller and Lacy, 2005):

- Inbreeding depression is modelled as reduction in first year survival of inbred individuals
- The number of lethal equivalents (LE) sets the severity of the inbreeding depression. The default value in Vortex is 3.14 LE per diploid individual, based on a survey of 40 captive mammal populations
- The percentage of the genetic load due to recessive lethal alleles was set at 50%, derived from a number of well studied species

Results of baseline model and model validation

Figure 1 and Table 5 compare the results of the baseline model to those of the census. The baseline model presents a stochastic growth rate of 11.35% per year and a % of CNA of 42%, which fits the census results. However, the baseline presents a sex ratio of CAF to CAM which is the reverse of what is found during the census. The baseline model presents more CAM than CAF. With such a high male biased sex ratio at birth, male mortality is not high enough to result in a female biased sex ratio among older animals. For this reason an adapted baseline scenario was tested in which the sex ratio at birth was set to 60% and the mortality of males was increased in the younger age classes (the older age classes already had higher mortalities than females). Table 6 provides details of how mortality of the baseline model was adapted. The results of the adapted baseline model presented a stochastic yearly growth rate of 10.38% per year which when standard deviations are taken into account (Figure 1) appears not too different from the census results. The %CNA is 43% and the ratio of CAF to CAM has turned to favour females with a ratio of 1.07. This is still smaller than that observed during censuses. However, further increasing male mortality, in younger or older age classes, though bringing the ratio of CAF to CAM closer to that seen in the censuses, also decreases the growth rate. It is thought unlikely that reproductive output of females was underestimated, or that mortality levels could be lower (they are already extremely low in the model). Possible explanations for the discrepancy between the model and the census results are:

- Adult males could be underestimated in the censuses because they more often travel alone (Suraud and Dovi, 2006,2007)
- The sex ratio at birth is really lower than 60% males (e.g. 55 - see results of sensitivity testing below), although this degree of male biased sex ratio was pretty consistent over the period 1997 to 2008
- Females can really start to breed earlier than 5 years (e.g. 4 years - see results of sensitivity testing below)

- The increase in population size and the sex ratio of CAF/CAM in the field could be the result of not only reproduction and mortality, but also movement of small numbers of animals between the expansion zone and the core zone. For example, the supplementation of one VAF every two years to the adapted baseline scenario (scenario “BL adapted Suppl” Figure 1, Table 5,6) results in a stochastic yearly growth rate of 11.03%, a ratio of CAF to CAM of 1.14 and a %CNA of 43%. An alternative supplementation scenario of one VAF with 0.7 one year old female and 0.3 one year old male supplemented every other year results in a growth rate of 11.56%, a ratio of CAF to CAM of 1.26 and a %CNA of 45%. Very small numbers of animals moving from the expansion zone into the core zone can therefore have a relatively large effect.

The number of CAF produced by the adapted baseline model is similar (or very slightly lower) to that seen in censuses (e.g. 56.23 for 2008 in the model and 57, 50 and 59 in the 2005, 2006 and 2007 censuses respectively). With a short term polygynous breeding system and the proportion of VAM in the breeding pool set very high in the model (90%), males are unlikely to be limiting for population growth, even in years with small numbers of males. For these reasons it was decided to use the input parameters of the adapted baseline model as the basis for the future scenarios. The number of adult females is likely to play a more important role in determining growth rate and this model appears to produce this amount. Furthermore, the adapted baseline model does not count on a net arrival of animals into the core zone to produce a higher growth rate and a more female biases sex ratio of animals older than 4. If there is such a net movement, this is unlikely to go on for very long as it is likely that only a relatively small number of animals is currently present in the expansion zone. The adapted baseline model would therefore appear to err on the safe side (it is slightly less optimistic than the recent censuses suggest). Nevertheless, it is probably wise to still keep in mind that female mortality parameters (especially first year mortality) for this giraffe model are very low compared to other wild giraffe and ungulate populations, even in the absence of predators and direct human induced mortality.

Table 5: Stochastic yearly growth rate (r stoch), mean final population size (N 2008), ratio of females older than 4 years to males older than 4 years (Ratio CAF/CAM) and % of animals of 4 yrs or younger (%CNA) in four different Vortex model scenarios. How these scenarios differ from each other in terms of input parameters is shown in Table 6.

	Censuses	Baseline	BL Adapted	BL Adapted Suppl	BL Adapted Suppl 1VAF+0.7 1yrF+0.3 1yrM
r stoch	~0.11	0.1135	0.1038	0.1103	0.1156
N 2008	~200	213	192	206	218.45
Ratio CAF/CAM	1.35*	0.68	1.07	1.14	1.26
%CNA	43%**	42%	43%	43%	45%

CAF = Adult females according to censuses (+4yrs old); CAM= Adult males according to censuses (+4yrs old)

%CNA = % of census non-adults (≤ 4 yrs old)

* Average for the 7 years for which this info was available

** Average for the 5 years for which this info was available

Figure 1: Evolution in mean (with standard deviation) number of individuals in the population at the end of each year of the simulation (from 1997 till 2008), under four different scenarios with input values according to Table 6.

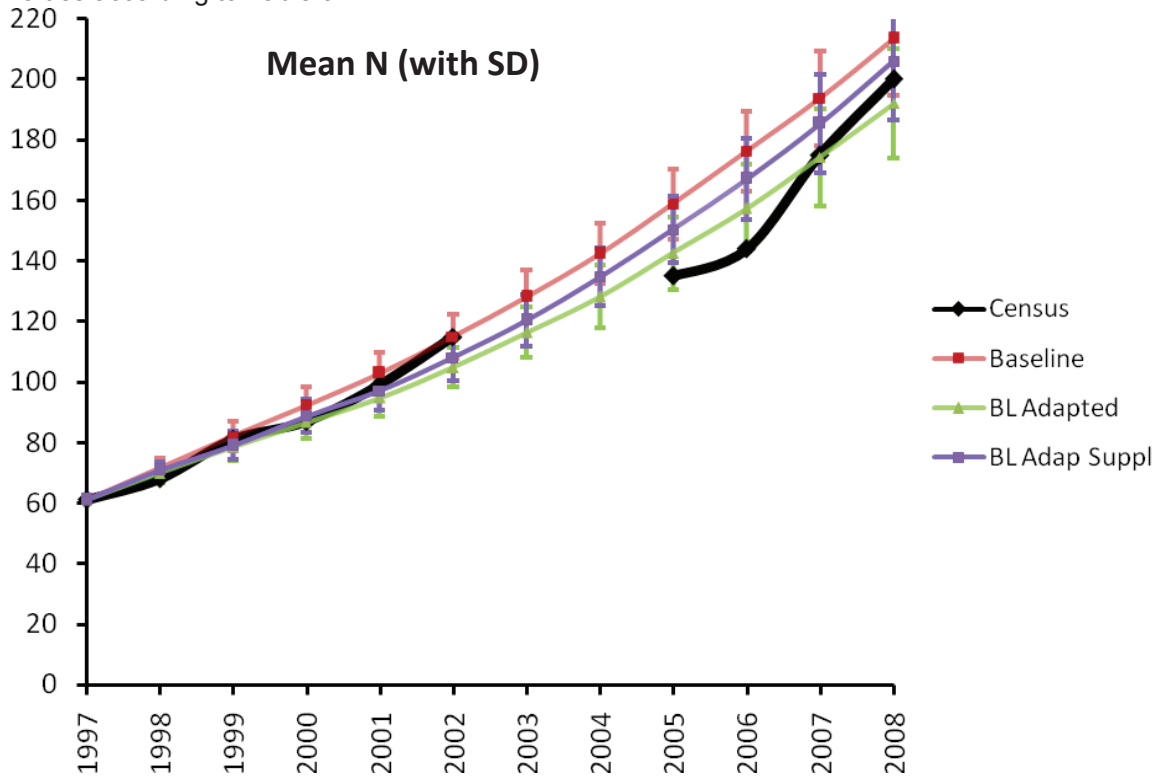


Table 6: Input values for alternative scenarios tested in the Vortex model. VAF= Adult female according to Vortex age classes

	Baseline	BL Adapted	BL Adapted Suppl	BL Adapted Suppl AF+1yr olds
Sex ratio at birth (%Males)	65	60	60	60
Mortality rates				
Females 0-1	5	5	5	5
1-2	1	1	1	1
2-3	1	1	1	1
3-4	1	1	1	1
4-5	1	1	1	1
>5	Form: 2, 6, 15	Form: 2, 6, 15	Form: 2, 6, 15	Form: 2, 6, 15
Males 0-1	6	25	25	25
1-2	1	10	10	10
2-3	1	5	5	5
3-4	1	3	3	3
4-5	1	3	3	3
5-6	3	3	3	3
6-7	3	3	3	3
>7	Formula: 3, 8, 25	Formula: 3, 8, 25	Formula: 3, 8, 25	Formula: 3, 8, 25

Supplementation	none	none	1 VAF every 2 yrs	1 VAF + 0.7 Age 1 F + 0.3 Age 1 M
-----------------	------	------	-------------------	-----------------------------------

Sensitivity analysis

In order to test the sensitivity of the model to changes in various demographic rates and the level of inbreeding depression, alternative scenarios of the adapted baseline model were run, whereby in each scenario one parameter was changed to either a minimum or maximum value (see Table 7). The scenarios were also run for 150 years (or about 12 giraffe generations), instead of 11 so that potential long term trends could be captured. Female mortality for the age classes of 1-5 was not set lower than 1% as this was deemed unrealistic.

Table 7: Minimum and maximum values used in scenarios for testing the sensitivity of the adapted baseline model to variations in various demographic rates as well as the level of inbreeding depression. VAF= Adult females according to Vortex age classes

	Min	BL Adapted	Max
Age first breeding F	4	5	6
Age first breeding M	6	7	8
Max age reproduction	20	25	30
Sex ratio at birth	55	60	65
%VAF breeding	55	60	65
Mortality rates			
Females 0-1	4	5	10
1-2	/	1	3
2-5	/	1	3
>5	1,5,10	Form: 2, 6, 15	5, 10, 20
Males 0-1	20	25	30
1-2	5	10	15
2-3	2	5	8
3-4	1	3	5
4-5	1	3	5
5-6	1	3	5
6-7	1	3	5
>7	2,6,20	Form: 3, 8, 25	6, 10, 30
% M in breeding pool	80	90	100
Lethal equivalents	0 (no inbreeding depression)	3.14	6

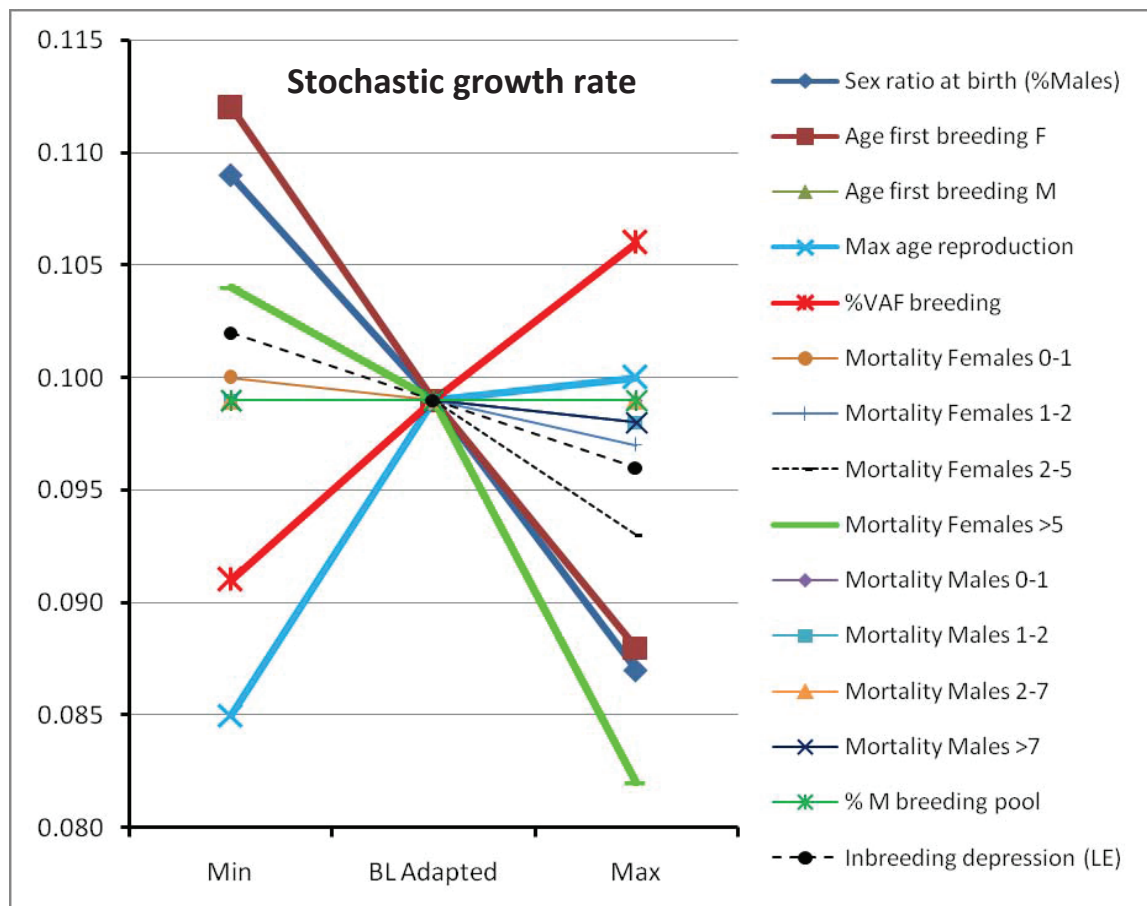
The percentage of gene diversity retained and the percentage of animals of 4 yrs old and younger varied between 94.30% and 95.03% (BL adapted 94.79%), and 39.9% and 43.7% (BL adapted 42.1%) respectively, and these variations were not deemed very significant to the model. Changes in the demographic rates and level of inbreeding depression caused potentially more important variations in the stochastic yearly growth rate and the proportion

of females older than 4 yrs to males older than 4yrs. The results for these latter two parameters can be found in Figures 2 and 3.

Stochastic growth rate

Variations in the **age of first breeding for females**, the **percentage of adult females breeding per year** and the **sex ratio at birth**, as well as a shorter **reproductive lifespan**, and increased **mortality of adult females** according to the values in Table 7, appear to have larger effects on the stochastic growth compared to changes in the other parameters. All the scenarios had standard deviations on the stochastic growth rate between 0.024 and 0.026 and these results are therefore not significant from a statistic point of view. They do however indicate that improved estimates of these parameters through the field research can help improve the reliability of future modelling exercises for this giraffe population. As expected, females appear to be a big driver of the growth rate in this population and better estimates of female demographic values in general would be beneficial. For example, the already very low mortality for first year females was varied only a little because that was felt to be the reality so far, and because higher mortality rates for females prevented the model from approaching the growth rate combined with the adult sex ratio observed during the censuses. Larger variations in the first year mortality than tested here would likely also produce larger variations in the results.

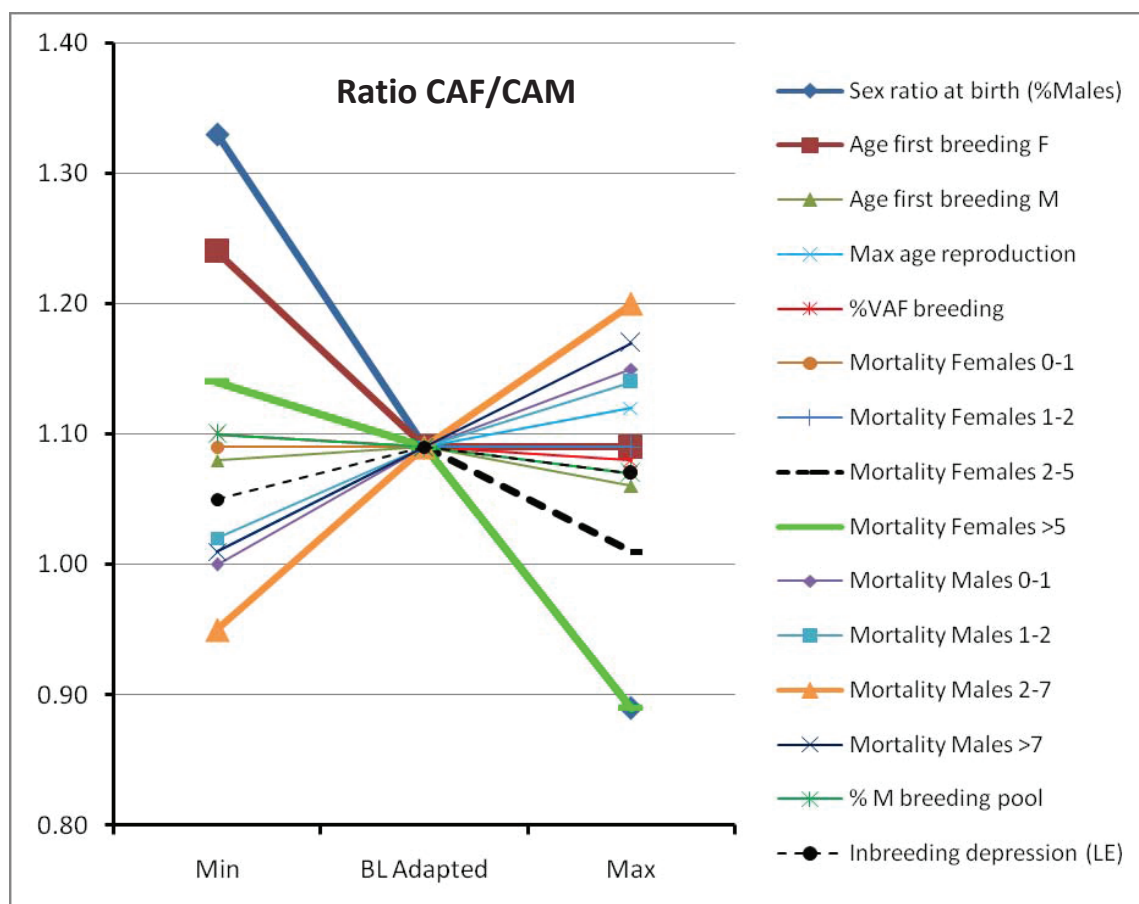
Figure 2: Sensitivity of the stochastic growth rate to variations in various demographic rates as well as the level of inbreeding depression in the adapted baseline model. Min/Max = minimum/maximum values for the various rates according to Table 6.



Proportion of females older than 4 yrs to males older than 4yrs

Variations in the **sex ratio at birth** and the **mortality of males of 2-7**, as well as an earlier **age of first breeding for females**, and higher **mortality of adult or subadult females** had comparatively the highest effects on the ratio of females older than 4 yrs to males older than 4yrs. Lowering the age of first breeding for females from 5 years to 4 years, or decreasing % males at birth from 60 to 55 would bring the model closer to the 1.35 ratio of CAF/CAM found during the censuses, and would also increase the growth rate slightly to come even closer to that found during 1997-2008.

Figure 3: Sensitivity of the ratio of Females >4yrs old to Males >4yrs old, to variations in various demographic rates as well as the level of inbreeding depression in the adapted baseline model. Min/Max = minimum/maximum values for the various rates according to Table 6.



Status quo Model (current situation, no further loss of habitat)

Changes in adapted baseline model parameters

Number of populations: 2 (zone girafe and the expansion zone)

Carrying capacity: zone giraf: 300; expansion zone: 700

The majority of the population permanently occupies the “zone girafe” which is composed of:

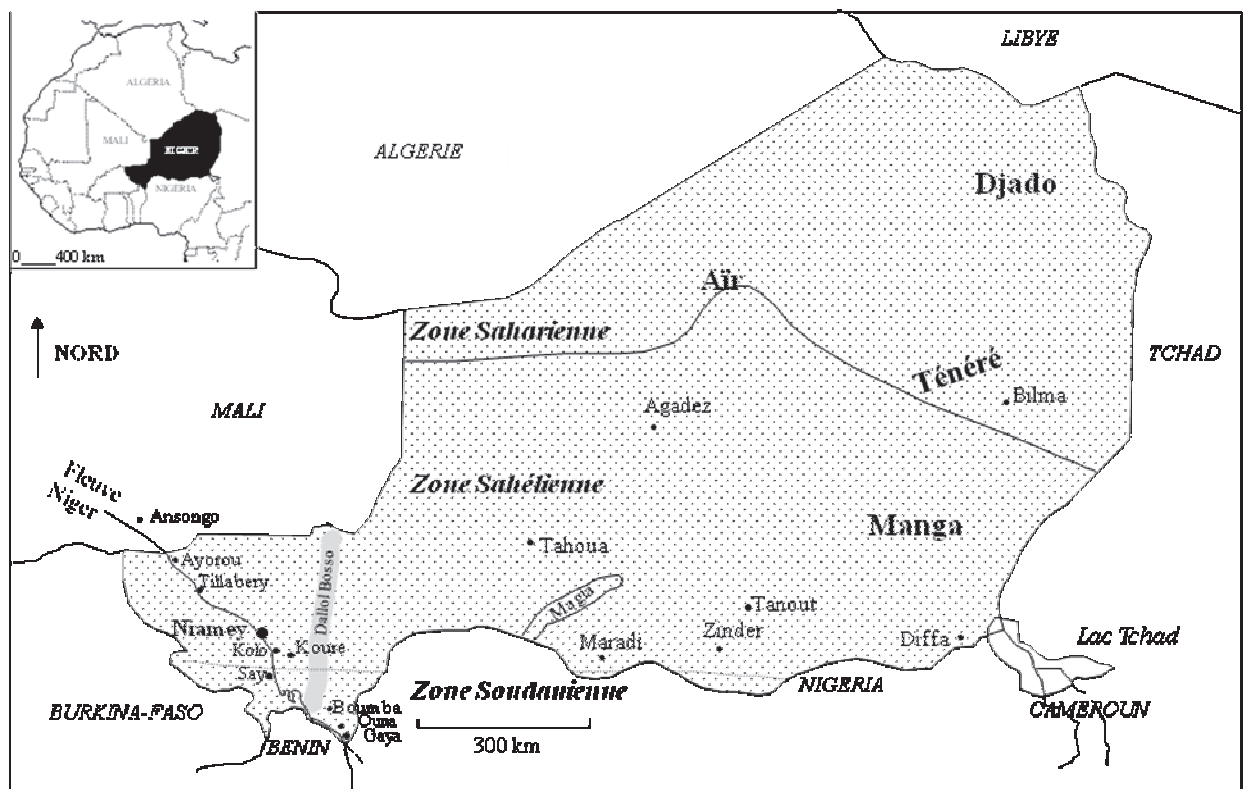
- the zone Kouré (les plateau ou fakara de Kouré (800 km²) and the Fandou region where the giraffes can be found during the rainy season from June to September)

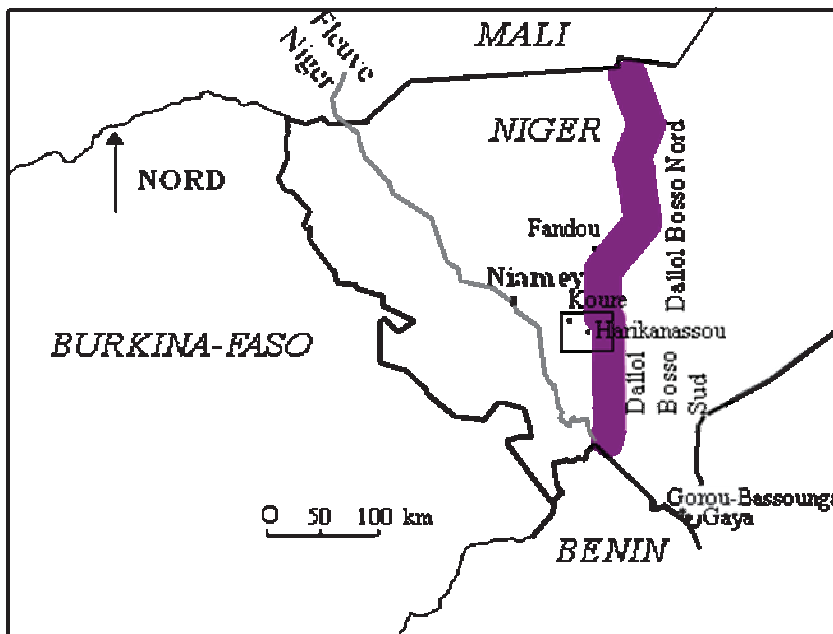
- the Harikanassou region in the Dallol Bosso Nord (where the giraffes occur during the dry season from October to May).

During the rainy season around 90% of the population can be found in the Kouré plateau and 10% in the Fandou. The Fandou region seems to have an increasing importance for the giraffes, and it is probable that some giraffes can stay the entire year in Fandou. Indeed, an important acacia forest linked to the plateau appears to be a good habitat for the giraffes during the dry season.

The zone girafe is thought to have a carrying capacity of 300 individuals, however it is thought likely that should the carrying capacity in the zone girafe be reached, animals will move into a larger area, called the expansion zone (north of Niamey until the Balleyara region, and to the south reaching the Gorou Bossanga Forest close to the town of Gaya close to the border with Benin (Boulet et al., 2005)) which was estimated by the modelling input group to be able to hold another 700 individuals. Some giraffes are sometimes present in Tahoua, Loga, Ouallam, Filingué. In 2007, 2 giraffes were seen in Tilabery (180km West of Niamey), and 2 in Nigeria (one at least was killed immediately by poachers) (Suraud, pers. com.).

The total carrying capacity of the zone girafe + the expansion zone was thought to be 1000 individuals.





Catastrophes

In Vortex, catastrophes typically only affect reproduction and/or mortality rates in one year. Although four different types of “catastrophes” were identified by the Science working group of the PHVA workshop (see PHVA report), only three of these concern events that typically cause more than average variation in reproduction and/or mortality within one year. Some of the other ecological threats, such as climate change, desertification, invasive plants, drying up and shifting of ground water resources, and “human” events such as large scale projects will either be modelled in other ways (for example through a decrease of carrying capacity (= habitat availability) over several years etc – see further in this Vortex report), or will have to be modelled at a later time, and possibly using other software tools, once the likely quantitative effects of these on the giraffes and their habitat is better understood.

The three types of “Vortex-catastrophes” identified were:

- Ecological events: An important potential ecological catastrophe in the region is drought. There are “average” droughts about every ten years (e.g. 1965, 1972-1973, 1984, 1996, 2005) and “very severe” droughts about every 20 years. The drought of 1972/73 exterminated the last giraffes in the Gadabeji Total Faunal Reserve – Agadez (Niger).
- Political events: conflicts of a political nature have in the past already lead to the extinction, or near extinction of species, for example: giraffes in Angola, hippopotamus in the Virunga region of the Democratic Republic of Congo, the extermination of the red-necked ostrich in the north of Niger during the touareg rebellion in 1992, etc. These types of conflicts are difficult to understand and predict but nevertheless should not be forgotten as a very serious potential threat to an endangered population, for example through catastrophic poaching events etc. Experience has also taught that political instability becomes more likely in times of ecological catastrophes.

- Disease outbreaks: these could be both newly emerging diseases (new to science and/or new to the region) or existing, known diseases. For example, rinderpest killed 40% of the giraffes in northern Kenya in 1960 (Dagg, 1971). Some disease outbreaks are more likely to occur in times of ecological catastrophes, for example some pathologies can be linked to major droughts (e.g. Anthrax mortality is associated with elevated tannin levels in forage, which occurs during droughts due to high browse pressure on the vegetation).

The probabilities of occurrence and the minimum, average and maximum affects on survival identified for these three catastrophes can be found in Table 8, and were derived from the work of the Science working group during the PHVA.

In order to inform the model that political and disease catastrophes are more likely to occur at times when an ecological catastrophe takes place, the following formulas were used for the frequency of political and disease catastrophes:

Political:

$$\text{Frequency} = (1 + ((\text{CAT}(1)=0) * 4))$$

Meaning that the probability of occurrence is normally 1%, unless an ecological catastrophe happens, then the probability of having a political catastrophe in that year jumps to 5%.

Disease:

$$\text{Frequency} = (5 + ((\text{CAT}(1)=0) * 5))$$

Meaning that the probability of occurrence is normally 5%, unless an ecological catastrophe happens, then the probability of having a political catastrophe in that year jumps to 10%.

For all three catastrophes it was assumed that in those years where a catastrophe occurs, there is a 20% probability of it having a minimum impact, a 70% probability of it having an average impact and a 10% probability of it having a maximum impact.

This was build into the model by using the following formulas for the severity factor for survival:

Ecological catastrophe:

$$\text{Severity survival} = 0.85 - [0.2 * (\text{SRAND}(Y + (100 * R) + (10000 * P)) > 0.20)] - [0.4 * (\text{SRAND}(Y + (100 * R) + (10000 * P)) > 0.90)]$$

Political catastrophe:

$$\text{Severity survival} = 0.8 - [0.3 * (\text{SRAND}(Y + (100 * R) + (10000 * P)) > 0.20)] - [0.5 * (\text{SRAND}(Y + (100 * R) + (10000 * P)) > 0.90)]$$

Disease catastrophe:

$$\text{Severity survival} = 0.8 - [0.3 * (\text{SRAND}(Y + (100 * R) + (10000 * P)) > 0.20)] - [0.4 * (\text{SRAND}(Y + (100 * R) + (10000 * P)) > 0.90)]$$

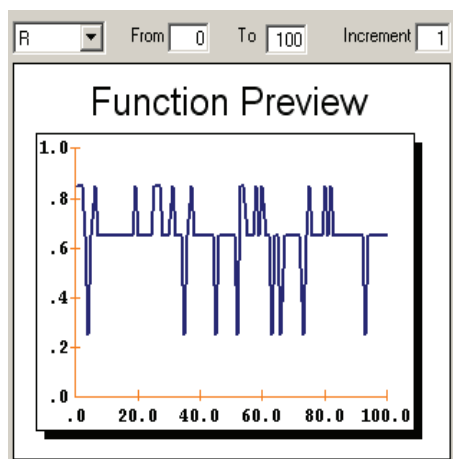
By way of example, figure 4 shows a graphic representation of the formula for the severity of ecological catastrophes. The catastrophes were applied to both populations (zone girafe and the expansion zone) in the same way. Political and ecological catastrophes were entered as 'global', meaning that if they occur, they occur in both populations at the same time. The disease catastrophe was entered as 'local' meaning that a disease hitting the population in

the zone giraffe does not necessarily hit the expansion zone at the same time, and vice versa.

Table 8: Probability of occurrence (in %) and impact (as a severity factor on survival – for example a severity factor of 0.8 means that survival is reduced by 20%; a severity factor of 0 means that mortality is 100% in the year of the catastrophe) for each of the different types of catastrophes that may affect the giraffe population in Niger.

	Ecological	Political	Disease
Probability of occurrence	5%	1% (but 5% in the year of an ecological catastrophe)	5% (but 10% in the year of an ecological catastrophe)
Minimum impact	0.85	0.8	0.8
Average impact	0.65	0.5	0.5
Maximum impact	0.25	0	0.1

Figure 4: Graphic representation of the formula for the severity factor for the survival rate for ecological catastrophes



Dispersal and mortality:

Before 1996, poaching incidents took place whereby, with exception of the special capture incident in 1996, giraffes were mainly poached for food and therefore the largest, i.e. adult, individuals were mostly targeted (Ciofolo, pers. comm.). Since 1996, poaching has been largely stopped and a lot of effort has been put towards development and education/awareness activities among the local human population (Suraud and Dovi, 2006). The Vortex model input group estimated the current poaching rate to be about 0.5% per year and this is already incorporated in the mortality rates.

It is presumed that when the population size (N) nears the carrying capacity (K) of the zone giraffe (300 individuals), poaching might increase because there might be more human/giraffe conflicts. It was thought that poaching would increase to a total of 2% per year.

In addition, it was felt that mortality in general would be higher in the expansion zone, both because the poaching rate might be higher (because the local human population is less

aware of the importance of the giraffe population) and because resource conditions are generally less ideal in the expansion zone compared to the zone giraffe. Higher mortality for non-poaching reasons would likely affect all age classes, whereas poaching affects largely adults. Mortality of all non-adult age classes in the expansion zone was thought to increase by 2% and those of adult age classes by 6.5%. The modelling input group estimated that poaching levels possibly range between 2 and 5% per year in less controlled areas or in politically less stable times. 0.5% poaching mortality was already included in the mortality rates. If we assume that poaching levels will be high in the expansion zone because of less control and conservation education and development work, then the 6.5% increased adult mortality in the expansion area would reflect 2% extra mortality from natural causes and 4.5% extra mortality from poaching ($4.5+0.5 = 5\%$).

The above is best modelled by creating two populations within the model, whereby one represents the zone giraffe and the other represents the expansion zone. If the giraffe population were to be modelled as one population whereby mortality would increase when the population size is larger than 300, mortality would increase for all the animals, including those that in real life would be in the zone giraffe and would be experiencing lower mortality than those in the expansion zone. The giraffes in the zone giraffe and the expansion zone will therefore be modelled as two different populations with dispersal between them.

In terms of mortality the following adaptations were made compared to the adapted baseline model:

Zone giraffe population:

- Mortality of **adults** increases gradually from current level to 1.5% above current level (because currently there is already 0.5% poaching built into mortality), from the moment $N = 250$ (in other words when the population size climbs towards the carrying capacity 300 individuals).

For this, the mortality formulas for adults were adapted.

Females:

$$[(A < 15) * \{[(N < 250) * 2] + [(N \geq 250) * (2 + (0.03 * [N - 250]))]\}] + \{[(A \geq 15) \text{ AND } (A < 20)] * \{[(N < 250) * 6] + [(N \geq 250) * (6 + (0.03 * [N - 250]))]\}\} + [(A \geq 20) * \{[(N < 250) * 15] + [(N \geq 250) * (15 + (0.03 * [N - 250]))]\}]$$

Males:

$$[(A < 15) * \{[(N < 250) * 3] + [(N \geq 250) * (3 + (0.03 * [N - 250]))]\}] + \{[(A \geq 15) \text{ AND } (A < 20)] * \{[(N < 250) * 8] + [(N \geq 250) * (8 + (0.03 * [N - 250]))]\}\} + [(A \geq 20) * \{[(N < 250) * 25] + [(N \geq 250) * (25 + (0.03 * [N - 250]))]\}]$$

Expansion zone population: mortality = mortality in adapted baseline model +

- Increased non-adult mortality with 2%
- Increased adult mortality with 6.5%.

Dispersal

Because the Niger giraffes don't have fixed territories and have loose group structures, the animals are likely to move between the zone giraffe and the expansion zone in small groups that can contain various age and sex classes and hence the dispersal ages were set from 1 to 25 years (meaning that dispersal can happen for either sex and at any age). Because in reality the zone giraffe and the expansion zone fluently merge into one another, and the

higher mortality in the expansion zone was entered in the mortality section for that population, the survival of dispersals was set to 100%.

It was thought that dispersal from the zone giraffe to the expansion zone would occur only if the carrying capacity of the zone giraffe has been reached. For the reverse dispersal direction, one could expect dispersal from the expansion zone to the zone giraffe to occur almost whenever the population in the zone giraffe is below carrying capacity (because conditions are more favourable there). Vortex allows the setting of rules for when dispersal should or should not occur, by writing a dispersal modifier function.

The following dispersal modifier function was used for the status quo model:

$$=D*{[(P=1)*(NN(1)>=(KK(1)+10))]+[(P=2)*(NN(1)<=(KK(1)-10))]}$$

This means that the dispersal from the zone giraffe to the expansion zone ($P=1$) will only happen if the population size in the zone giraffe is larger than 310 ($K+10$) and the dispersal from the expansion zone to the zone giraffe ($P=2$) will only happen whenever the population size of zone giraffe is smaller than $K-10$.

In Vortex, dispersal events take place after reproduction and mortality for the year has been applied, and before the additional mortality across all age and sex classes is imposed to bring the population to K , if N was larger than K . Therefore, the dispersal event can sometimes bring N under K again. For example, if N is 302 after reproduction and mortality and a 3% dispersal rate is applied, this brings the population down to 293 (on average). Dispersal could therefore be a drain on the zone giraffe. In reality however, what would take place with the giraffes is that those individuals “above K ” would be dispersing into the expansion zone. In order to minimize this effect we ask Vortex to allow dispersal only if the population size of the zone giraffe (after reproduction and mortality) is larger than $K+10$, or 310. In this way we minimize the chance that in the computer model, dispersal causes the population to stay below carrying capacity. We are so to speak dispersing from the stock that would get killed because of imposing K . When run for 150 yrs with a carrying capacity of 300 the adapted baseline model (contains no catastrophes and no increased mortality as N reaches K) achieved a stochastic growth rate of 0.10 with a standard deviation (SD) of 0.025. $0.10 + 3SD = 0.175$. If the population was already at K just before reproduction and mortality was applied, it could in an extremely good year therefore reach a population size of about 353, which with a 3% dispersal rate would lead to about 10.6 individuals dispersing. Choosing $K+10$ as the cut off point for dispersal out of the zone giraffe therefore seems like a safe margin to avoid depletion of the zone giraffe. Conversely, giraffe will only move from the expansion zone into the zone giraffe if there is sufficient space in the zone giraffe. Therefore the dispersal modifier function specifies that dispersal from the expansion zone to the zone giraffe will happen as long as the population in the zone giraffe is at least ten animals below carrying capacity. This does have as a consequence that when both populations are small, the expansion zone will get depleted to the advantage of the zone giraffe, but this effect is small because dispersal is proportional to the population size.

The dispersal rate from the zone giraffe to the expansion zone was entered as 3% meaning that for those years where the population in the zone giraffe is at carrying capacity+10, on average about 9 individuals will move from the zone giraffe to the expansion zone. The dispersal rate from the expansion zone to the zone giraffe is entered as 1.3% which means

that on average 9 individuals will move from the expansion zone to the zone giraffe if the expansion zone is at its capacity of 700. Because the dispersal rate is proportional to the population size, the number of individuals dispersing will be smaller when the population size of the source population is smaller (and will be 0 if it falls below the cut off point specified in the dispersal modifier function). The overall dispersal rate entered is relatively low in order to avoid that it is much higher than the overall stochastic growth rate of the populations involved.

Initial population size:

Expansion zone = 0 (because individuals will disperse into it once the carrying capacity of the zone giraffe is reached)

Zone giraffe = 200 (the current size) at a fixed age distribution.

If the Niger giraffe population has a % CNA of 43% and a ratio CAF/CAM of 1.35, then for 200 individuals this leads us to 86 CNA, 66 CAF and 48 CAM. If the census data for 2007 are extrapolated to 200 individuals this leads us to the age and sex distribution of the CNA individuals indicated in Table 10:

Table 9: Census data for 2007 extrapolated to the expected 200 individuals for 2008

	Sudadults (18 months – 4yrs)	Jeunes (6-18 months)	Giraffons (0-6 months)	Total
Males	20	7	22	49
Females	22	11	4	37
Total	42	18	26	86

The “Jeunes” category represents 3x6 months. However there are usually more one year olds than two year olds due to higher mortality in the first age classes. Therefore 3 and respectively 5 “Jeunes” males/females were counted towards the age classes 2-4 yrs. The others were counted towards age class 1.

From this, the specified age distribution as specified in Table 10 was created.

Table 10: Specified age distribution for initial population size used in status quo model

Age Class	Females	Males
1	10	26
2	10	12
3	9	7
4	8	4
5	8	5
6	7	4
7	6	5
8	5	3
9	6	4
10	5	3
11	5	4
12	4	3
13	4	2
14	2	2
15	2	1
16	2	2
17	2	2
18	1	1
19	2	1
20	2	1
21	1	1
22	1	1
23	0	1
24	1	1
25	0	1

Results:

- After 150 years, the metapopulation had a probability of extinction of 14.2% (Table 11). The probability of extinction increased gradually over the years (Figure 5) and appears to have been largely driven by what happened to the population in the zone giraffe. The probability of extinction for the expansion zone is overall higher than that of the zone giraffe and is highest in the beginning of the simulation. This is because the population has a starting size of 0 and so needs to get populated with animals dispersing from the zone giraffe, and because there is dispersal of individuals into the zone giraffe whenever the latter dips below K-10 individuals. The probability of extinction of the expansion zone later stabilises as more animals are present in the zone, and after 100 years increases again, probably due to a combined effect of the population's own genetic, demographic and catastrophe characteristics and the fact that the probability of extinction of the zone giraffe population is highest then and dispersal from the expansion zone into the zone giraffe drains the expansion zone population. Despite its higher carrying capacity the average size of those runs that did not go extinct is, once it has stabilised after about 50 years, is not much higher in the expansion zone than in the zone giraffe (Figure 6), and the standard deviation is higher. This again reflects that population in the expansion zone is struggling.

- Because there is so much stochasticity built into the model, the average stochastic r is not very informative. However, judged by the average stochastic yearly population growth rate the populations do have an intrinsic potential to grow.
- The results for gene diversity should only be interpreted in terms of relative benefit of one scenario compared to another, or the relative “behaviour” on one population compared to another, rather than to draw conclusions from the absolute numbers. Vortex assumes that all 200 individuals of the initial population in the zone giraffe are unrelated. In reality, the individuals are not unrelated, but the degree of relatedness is as yet largely unknown and could therefore not be entered into the model. As a consequence the effects of inbreeding depression may be slightly underestimated in the model.
- That the expansion zone regularly “rescued” the zone giraffe population in the status quo scenario becomes clear if we turn dispersal off and look at the probability of extinction of the zone giraffe population on its own (Table 11 and Figure 7). After 150 years the mean probability of extinction is 32% compared to 15% in the status quo scenario with dispersal.

Table 11: Selected results for the “Status quo” scenario (no further habitat loss) with and without dispersal from the zone giraffe into a wider expansion zone when the population size of the zone giraffe reaches carrying capacity. Stoch r = mean stochastic growth rate experienced in the simulations; PE(%) = Probability of extinction (in %); Nextant = mean population size of the extant populations at the end of the simulation (\pm standard deviation SD); GD(%) = mean gene diversity (expected heterozygosity) in % remaining in the extant populations (\pm standard deviation SD)

Scenario	Population	Stoch $r \pm$ SD	PE(%)	Nextant \pm SD	GD (%) \pm SD
Status quo	Zone giraffe	0.024 \pm 0.254	15.0	210 \pm 100	91.6 \pm 7.5
	Expansion zone	0.024 \pm 0.281	26.4	267 \pm 240	91.6 \pm 8.0
	Metapopulation	0.017 \pm 0.208	14.2	438 \pm 308	92.2 \pm 7.7
Status quo No dispersal	Zone giraffe	0.024 \pm 0.261	32.0	182 \pm 109	88.0 \pm 9.1

Figure 5 Probability of extinction for the zone giraffe, the expansion zone and the metapopulation of these two populations according to the “Status quo” scenario (no further habitat loss)

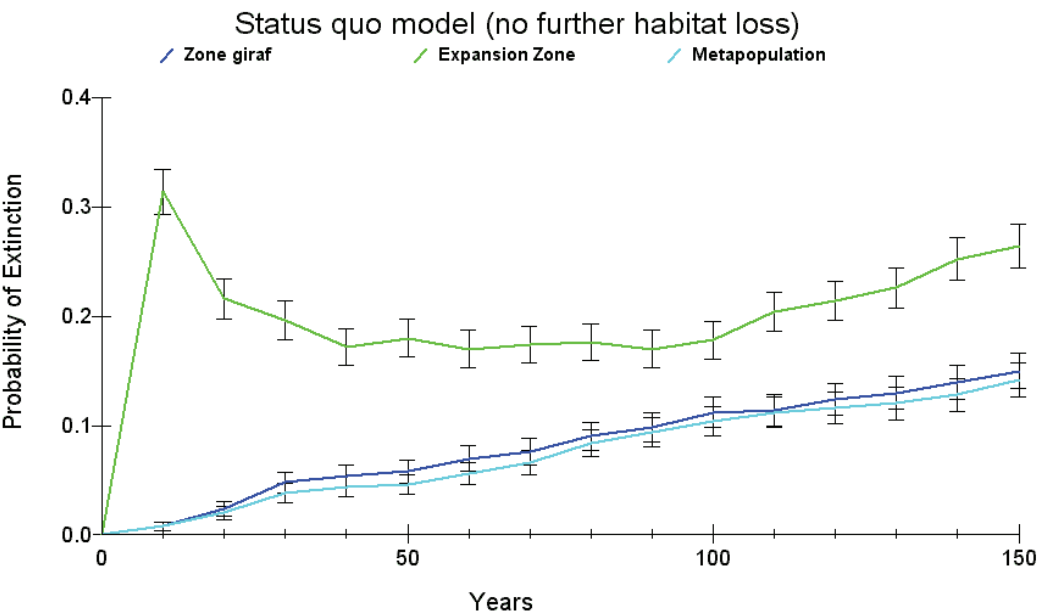


Figure 6: Mean population size of the extant populations at the end of the simulation (\pm standard deviation SD) for the zone giraffe, the expansion zone and the metapopulation of these two populations according to the “Status quo” scenario (no further habitat loss)

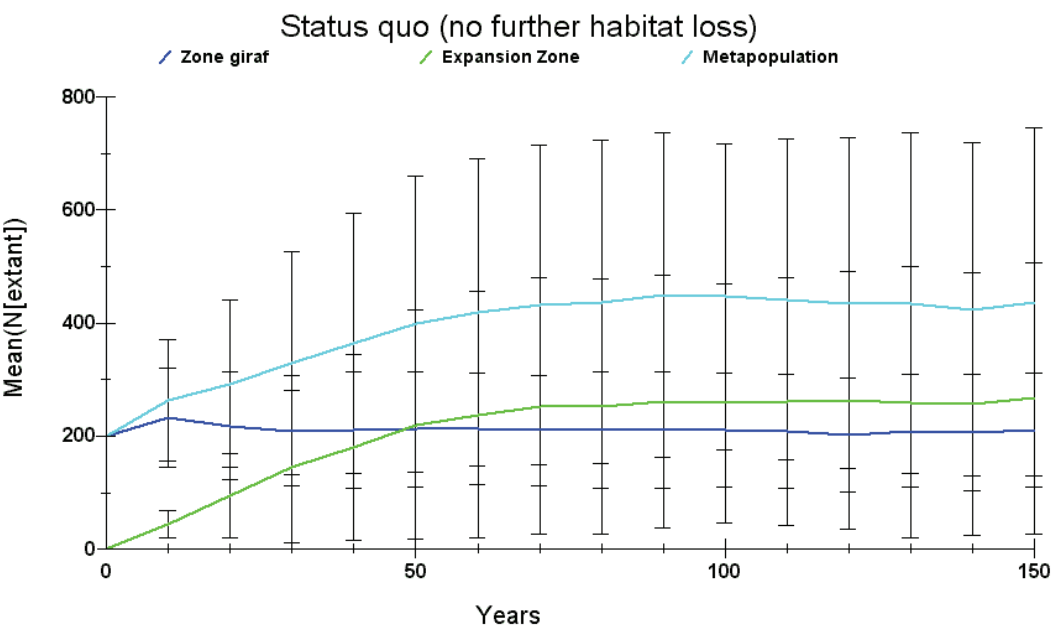
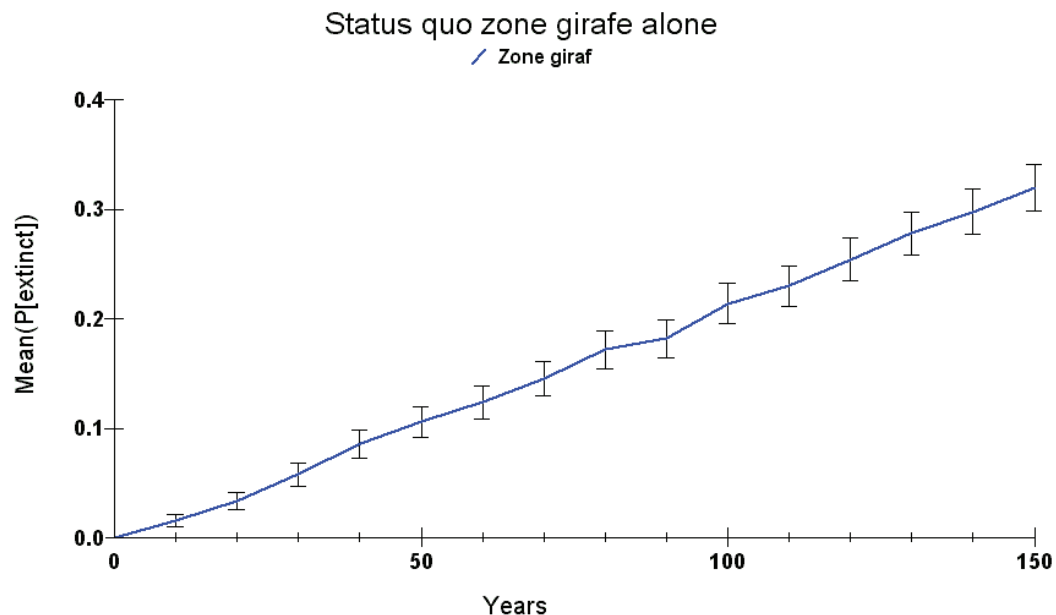


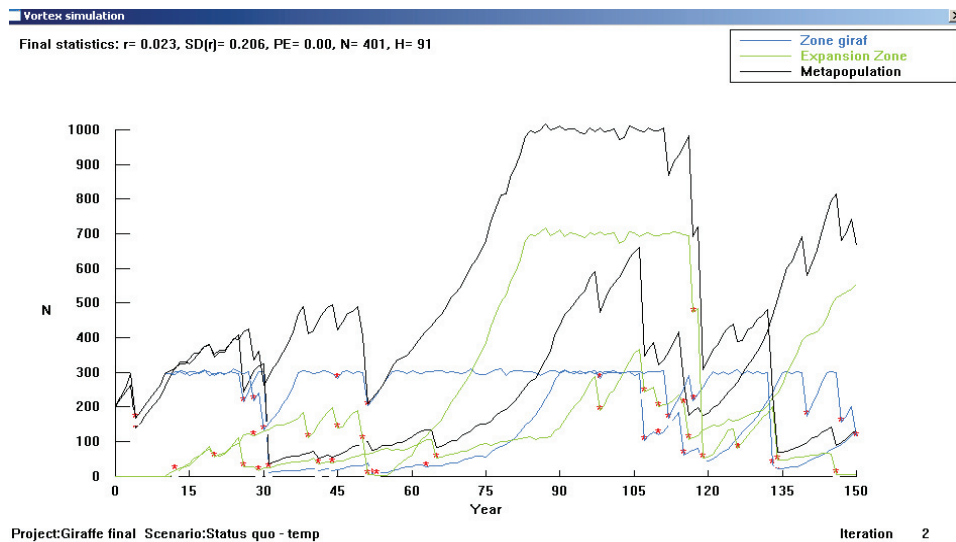
Figure 7: Probability of extinction for the zone giraffe according to the “Status quo” scenario (no further habitat loss) without dispersal from the zone giraffe into a wider expansion zone when the population size of the zone giraffe reaches carrying capacity (= Status quo scenario with dispersal rate = 0%).



We could try to model several alternative rules for the dispersal between the zone giraffe and the expansion zone, but it is likely that a more important reason for the high probability of extinction of the metapopulation is the catastrophes. Although for each type of catastrophe, the frequency of occurrence is fairly low (on average every 20 years for ecological or disease catastrophes and once every 100 years for political catastrophes), the fact that there are three different catastrophes means that in one run of 150 years, quite few catastrophic events will occur. This is clear from Figure 8, which shows just the first 2 (of normally 500) runs of the model. Every red star is a catastrophic event. The way the model is constructed, 20% of the catastrophes will be mild in severity, 70% will be average in severity and only 10% will be of maximum severity. However, although the probability of a maximum severity catastrophe for each of the catastrophe types is very low (once in a thousand years for “political” and five times in a thousand years (or once every 200 years) for ‘ecological’ and ‘disease’), the fact that there are three catastrophes does make it fairly likely that a maximum severity catastrophe hits at least once in 150 years, in which case, depending on the catastrophe, 75%, 90% or 100% of the animals die. Needless to say, if 100% mortality occurs, as is the case with a maximum severity political catastrophe, the population goes extinct.

Furthermore, the political and ecological catastrophes were entered as “global” meaning that when they happen, they happen in both the zone giraffe and the expansion zone at the same time, so that it becomes difficult (or in the case of maximum political catastrophe, impossible) for one population to “rescue” the other through dispersal.

Figure 8: Screen print of the first two runs of the “Status quo” scenario (no further habitat loss). Each red star represents a catastrophic event. N = population size.



Conclusions:

- The giraffe population in the status quo scenario is unsustainable. The probability of extinction of the whole population is 14%.
- The fact that giraffes can disperse into the expansion zone when the zone giraffe is at carrying capacity is beneficial, as the probability of extinction of the zone giraffe on its own (32%) is much higher than that of the zone giraffe in the dispersal scenario (15%) or the whole metapopulation in the dispersal scenario (14%).
- The catastrophes are a large contributor to the overall probability of extinction. If there really is a threat of these three types of catastrophes, and if they can hit with those severities, then there is a high probability that the population would not survive if no human intervention takes place, at least when maximum severity catastrophes are occurring. Luckily, none of these catastrophes are likely to cause all of their associated mortality in one, or a few days. There is likely time to respond. It would therefore be wise to be prepared for human intervention to help the giraffes, at least when high severity catastrophes are occurring (e.g. through supplementary feeding and watering during droughts, through vaccination campaigns during diseases, through help to the local communities and law enforcement during political catastrophes, or whichever methods may be (more) effective).

Status quo mitigated catastrophe model (current situation, no further loss of habitat, human intervention will prevent catastrophes having their maximum possible effect on survival)

Changes in "status quo" model parameters

Catastrophes:

None of the catastrophes will reach its maximum effect on survival if we assume that timely human intervention will prevent that. Therefore the severity functions were adapted such that, if a catastrophe occurs, in 20% of cases it will be a minimum severity catastrophe and in 80% of cases a medium level catastrophe.

Ecological catastrophe:

Severity survival = $0.85 - [0.2 * (\text{SRAND}(Y + (100 * R) + (10000 * P)) > 0.20)]$

Political catastrophe:

Severity survival = $0.8 - [0.3 * (\text{SRAND}(Y + (100 * R) + (10000 * P)) > 0.20)]$

Disease catastrophe:

Severity survival = $0.8 - [0.3 * (\text{SRAND}(Y + (100 * R) + (10000 * P)) > 0.20)]$

Disease remained entered as a local catastrophe, and ecological and political catastrophes as global catastrophes. Political and disease catastrophes remain more likely to occur in the year of an ecological catastrophe.

Results and conclusions:

- Ensuring human intervention when catastrophes happen, such that at the worst only medium effects on survival occur, is of large benefit to the survival chances of the population. The metapopulation now only has a probability of extinction of 1% (Table 12).
- Purely in terms of preventing extinction, the expansion zone has in the current dispersal scenario with mitigation of the worst catastrophes only a minor beneficial effect. When dispersal is switched off, the zone giraffe alone still only has a 2% probability of extinction. However, having the possibility for animals to move into the expansion zone when the zone giraffe is at carrying capacity does allow for a larger population size to develop (mean metapopulation size of extant populations is 573 compared to 217 for the zone giraffe without dispersal), which in turn has a slight beneficial effect on the proportion of gene diversity that can be retained (94.8% for the metapopulation and 94.3% for the zone giraffe with dispersal to and from the expansion zone, compared to 91.9% for the zone giraffe without dispersal opportunities) (Table 12). As was indicated above, the results for gene diversity should only be interpreted in terms of relative benefit of one scenario compared to another, rather than to draw conclusions from the absolute values.

Table 12: Selected results for the “Status quo mitigated catastrophe” scenario (no further habitat loss) with and without dispersal from the zone giraffe into a wider expansion zone when the population size of the zone giraffe reaches carrying capacity. Stoch r = mean stochastic growth rate experienced in the simulations; PE(%) = Probability of extinction (in %); N extant = mean population size of the extant populations at the end of the simulation (\pm standard deviation SD); GD(%) = mean gene diversity (expected heterozygosity) in % remaining in the extant populations (\pm standard deviation SD)

Scenario	Population	Stoch r	PE(%)	N extant	GD (%)
Status quo mit cat	Zone giraffe	0.030 \pm 0.182	1	247 \pm 74	94.3 \pm 4.0
	Expansion zone	0.029 \pm 0.219	5	342 \pm 234	94.4 \pm 4.5
	Metapopulation	0.026 \pm 0.158	1	573 \pm 279	94.8 \pm 4.3
Status quo mit cat No dispersal	Zone giraffe	0.036 \pm 0.188	2	217 \pm 89	91.9 \pm 5.7

Sensitivity of the “status quo mitigated catastrophe” model to uncertainties in the life history parameters

Sensitivity testing of the adapted baseline model indicated that the life history parameters of the females were important drivers of the outcome of the model. Therefore the results of the “Status quo mitigated catastrophe” model will be tested for their sensitivity to these uncertainties in certain female parameters (Table 13). Because the first and second year mortality of females is very low in our models (compared to other giraffe and other mammal populations), a few scenarios were also created with an even higher mortality for these age classes than was used during the sensitivity testing of the adapted baseline model.

Table 13: Minimum and maximum values used in scenarios for testing the sensitivity of the “Satus quo mitigated catastrophe” model to variations in various female demographic rates as well as the level of inbreeding depression. VAF= Adult female according to Vortex age classes. ZG = Zone Giraffe. EXP= Expansion Zone. IBD = Inbreeding depression.

	Min	Status quo Mit Cat	Max	Max+	Max++	Max+++
Age first breeding F	4	5	6			
Sex ratio at birth	55	60	65			
%VAF breeding	55	60	65			
Mortality rates						
Females 0-1	4ZG/6EXP	5ZG/7EXP	10ZG/12EX P	15ZG/17E XP	20ZG/22 EXP	25ZG/27E XP
1-2	/	1ZG/3EXP	3ZG/ 5EXP	8ZG/10EX P		
2-5	/	1ZG/3EXP	3ZG/ 5EXP			
>5	1,5,10ZG 7/11/20EXP	2, 6,15ZG 8.5/12.5/21.5 EXP	5, 10, 20AG 10/14/23EX P			
Lethal equivalents	No IBD	3.14	6			

Results and conclusions (Table 14):

- The effect of varying certain female life history parameters (age of first breeding, % of adult females breeding, mortality rates, sex ratio at birth) and the effect of inbreeding according to the values in Table 13 had a relatively small effect on the probability of extinction of the metapopulation.
- The effect of varying the female life history parameters (age of first breeding, % of adult females breeding, mortality rates, sex ratio at birth) and the effect of inbreeding according to the values in Table 13 is larger on the mean size of the extant population, which can vary by about 200 individuals between minimum and maximum parameters entered. Although the highest level of first year female mortality (25%, the same as males) still only causes a probability of extinction of about 5%, the average size of extant populations becomes very small (280±192).

Table 14: Results for probability of extinction (%) of the metapopulation for scenarios stipulated in Table 13, created to test the sensitivity of the “Satus quo mitigated catastrophe” model to variations in various female demographic rates as well as the level of inbreeding depression. %VAF breeding = % Adult (according to Vortex age classes) females breeding. ZG = Zone Giraffe. EXP= Expansion Zone

	Min	Status quo Mit Cat	Max	Max+	Max++	Max+++
Age first breeding females	0.0	1	2.0			
Sex ratio at birth	0.2	1	1.6			
%VAF breeding	3.0	1	0.4			
Mortality rates		1				
Females 0-1	0.8	1	2.2	1.8	2.8	5.4
1-2	/	1	1.0	2.2		
2-5	/	1	0.6			
>5	0.6	1	1.6			
Lethal equivalents	0.6	1	2.0			

Table 15: Results for Mean extant population size (± Standard Deviation SD) of the metapopulation for scenarios stipulated in Table 13, created to test the sensitivity of the “Satus quo mitigated catastrophe” model to variations in various female demographic rates as well as the level of inbreeding depression. %VAF breeding = % Adult (according to Vortex age classes) females breeding. ZG = Zone Giraffe. EXP= Expansion Zone

	Min	Status quo Mit Cat	Max	Max+	Max++	Max+++
Age first breeding females	642±273	573±279	475±272			
Sex ratio at birth	685±268	573±279	425±263			
%VAF breeding	463±280	573±279	650±270			
Mortality rates						
Females 0-1	564±274	573±279	496±264	436±265	346±227	280±192
1-2	/	573±279	553±266	478±267		
2-5	/	573±279	469±267			
>5	637±273	573±279	409±273			
Lethal equivalents	624±275	573±279	518±265			

Status quo, mitigated catastrophes, one population

There exists at this moment uncertainty about how the zone giraffe and the expansion zone would be connected in terms of dispersal between the two regions. Would dispersal between the two regions be so frequent that they would in fact behave as one large population? Or would the two regions behave more like separate regions with a limited amount of dispersal between them. This uncertainty makes it difficult to set the “dispersal rules” in the Vortex model.

In order to get an idea of what would happen if the zone giraffe + the expansion zone were to behave as one big population, two scenarios were created that model the zone giraffe+expansion zone as one large population with a carrying capacity of 1000. This however allows less flexibility in setting different mortality values in a) the zone giraffe when it reaches K, and b) in the expansion zone where circumstances are less ideal (see explanation mortality values of status quo model). Therefore, in one version of this model, the mortality values of the expansion zone population will be applied to the whole population (the most pessimistic scenario), and in the other version the mortality values of the zone giraffe will be applied to the whole population (the most optimistic scenario).

Changes in “Status quo mitigated catastrophe” model parameters

Number of populations: 1 (zone giraffe + expansion zone)

Mortality:

a: the mortality values for the expansion zone population were applied to the whole population.

b: the mortality values for the zone giraffe as in the adapted baseline model were applied to the whole population.

Carrying capacity: 1000

Catastrophes:

Because there is only one population, the severity formulas were adapted as follows:

Ecological catastrophe:

Severity survival = $0.85 - [0.2 * (\text{SRAND}(Y + (100 * R)) > 0.20)]$

Political catastrophe:

Severity survival = $0.8 - [0.3 * (\text{SRAND}(Y + (100 * R)) > 0.20)]$

Disease catastrophe:

Severity survival = $0.8 - [0.3 * (\text{SRAND}(Y + (100 * R)) > 0.20)]$

Results (Table 15):

One large population with mortality rates as high as in the expansion zone would have a very high probability of extinctions (30%). One large population with the mortality rates of the zone giraffe as used in the adapted baseline model (therefore not taking into account the possible rise in poaching related mortality as the carrying capacity of the zone giraffe is reached), would behave as well as the metapopulation above under the mitigated catastrophe scenario. This however implies that the conservation and development actions must be equally efficiently and successfully implemented in the expansion zone as is currently the case in the zone giraffe.

Conclusions:

- Regardless of what the exact dispersal rate between the zone giraffe and the expansion zone might be, it appears crucial to have a core population in the zone giraffe where mortality is low (because of all the conservation and development actions already occurring in this region). With mortality rates as high as modelled for the expansion zone, even a large population of 1000 individuals would still have a very high risk of extinction.

Table 16: Selected results for the “Status quo mitigated catastrophe one population” scenario (no further habitat loss) with a) mortality rates as in the expansion zone, and b) mortality rates as in the zone giraffe in the “adapted baseline” scenario. Stoch r = mean stochastic growth rate experienced in the simulations; PE(%) = Probability of extinction (in %); N extant = mean population size of the extant populations at the end of the simulation (\pm standard deviation SD); GD(%) = mean gene diversity (expected heterozygosity) in % remaining in the extant populations (\pm standard deviation SD)

Scenario: Status quo mitigated catastrophes, one big population	Stoch r	PE(%)	N extant	GD (%)
a: mortality as in expansion zone	-0.007 \pm 0.192	29.6	316 \pm 315	89.8 \pm 10.8
b: mortality as in zone giraffe	0.043 \pm 0.186	0.6	754 \pm 283	96.7 \pm 2.6

Gradual, short term habitat degradation

Although mitigating the effects of the worst catastrophes, ensuring the continued existence of a well protected core population in the zone giraffe, and providing for the possibility for dispersal between the zone giraffe and the expansion zone appears to considerably increase the survival chances of the population, we should remember that these scenarios assume that no further habitat will be lost. In reality, this is likely untrue. Even if all the additional habitat conservation actions proposed in the strategy for the giraffes are carried out, it will take time for these to be fully implemented and have effect on the ground.

Habitat loss so far has been estimated at 50-80% over the last 20 yrs (or 2.5-4% per year). A model was created to test what will happen if this rate continues for another 10 years (assuming that the effects of the worst catastrophes are mitigated).

Figure 9: Probability of extinction of the metapopulation for various scenarios testing the effects of catastrophe mitigation and habitat loss. Dark blue = “status quo”; Green = “Status quo mitigated catastrophes”; Light blue = “Mitigated catastrophes with a 2.5% yearly loss of habitat for 10 yrs”; Red = “Mitigated catastrophes with a 2.5% yearly loss of habitat for 5 years in the zone giraffe and for 10 yrs in the expansion zone”; Pink = “Mitigated catastrophes with a 4% yearly loss of habitat for 10 yrs”

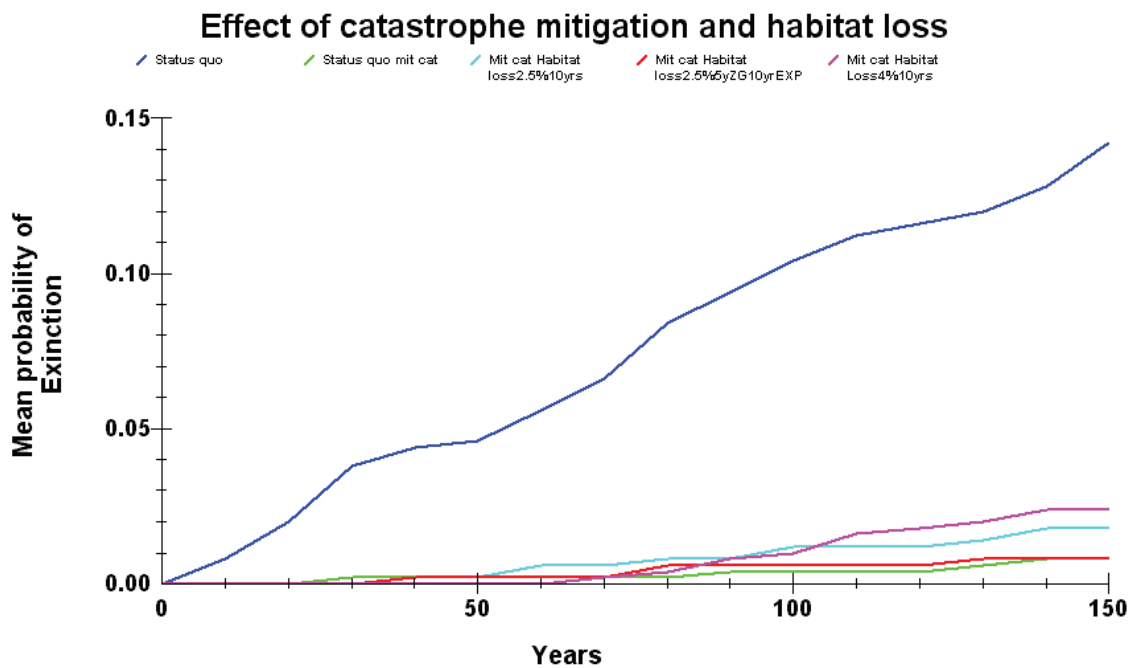


Figure 10: Mean size of extant populations of the metapopulation for various scenarios testing the effects of catastrophe mitigation and habitat loss. Dark blue = “status quo”; Green = “Status quo mitigated catastrophes”; Light blue = “Mitigated catastrophes with a 2.5% yearly loss of habitat for 10 yrs”; Red = “Mitigated catastrophes with a 2.5% yearly loss of habitat for 5 years in the zone giraffe and for 10 yrs in the expansion zone”; Pink = “Mitigated catastrophes with a 4% yearly loss of habitat for 10 yrs”

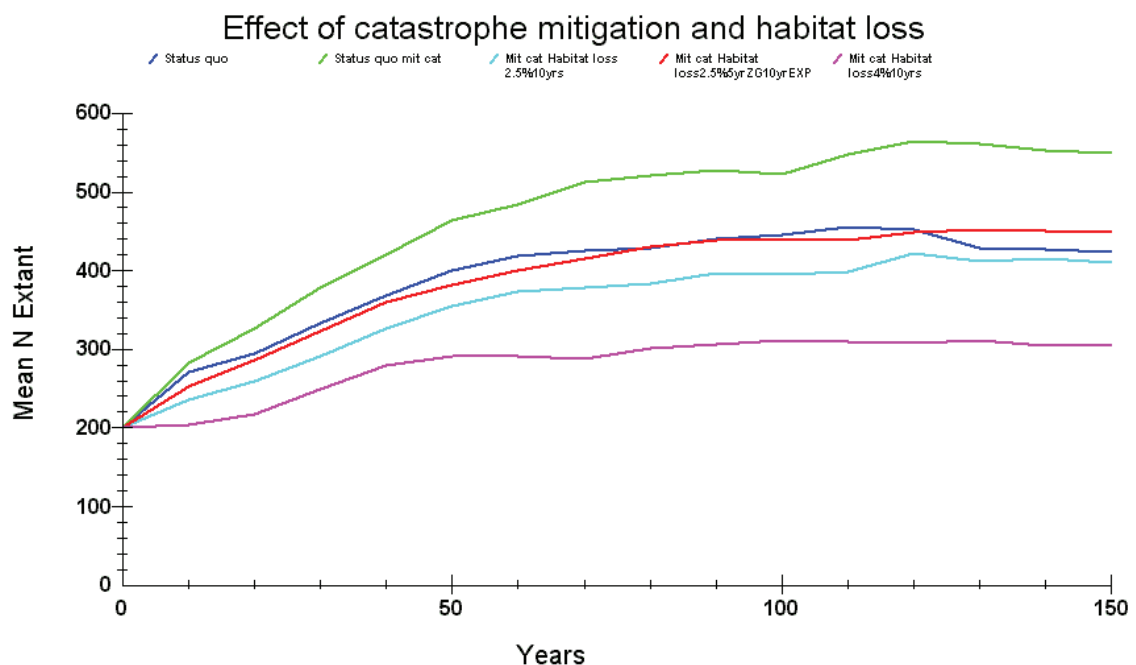
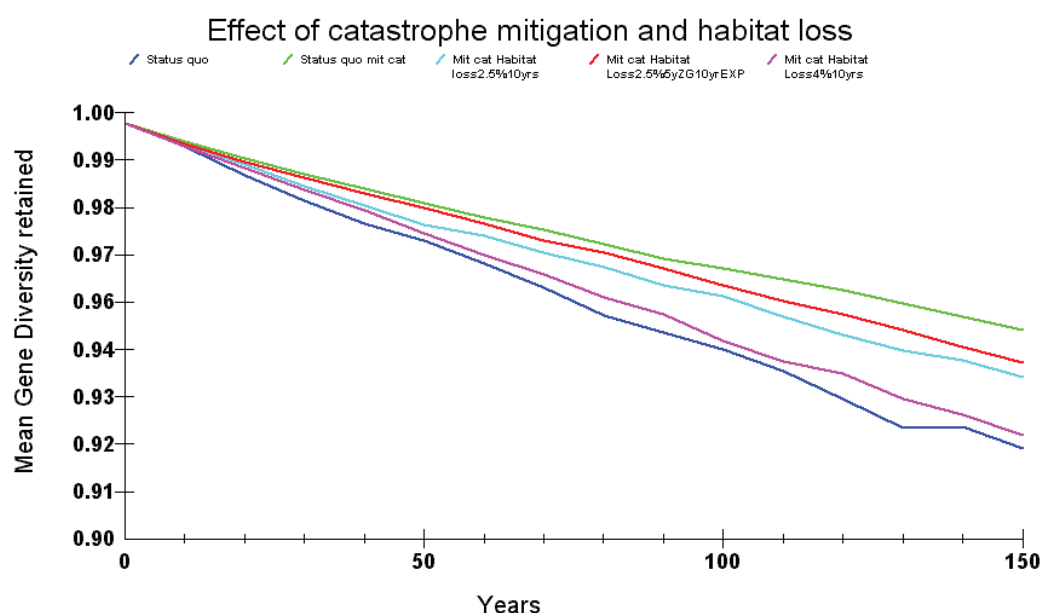


Figure 11: Mean gene diversity retained in the extant populations of the metapopulation for various scenarios testing the effects of catastrophe mitigation and habitat loss. Dark blue = “status quo”; Green = “Status quo mitigated catastrophes”; Light blue = “Mitigated catastrophes with a 2.5% yearly loss of habitat for 10 yrs”; Red = “Mitigated catastrophes with a 2.5% yearly loss of habitat for 5 years

in the zone giraffe and for 10 yrs in the expansion zone”; Pink = “Mitigated catastrophes with a 4% yearly loss of habitat for 10 yrs”



Sudden or longer term habitat degradation:

If habitat loss continues longer than 10 years and/or has a higher intensity, the effects on the population will likely be much worse than modelled above. For example, some of the other “catastrophes” mentioned by the science working group would in reality cause a large scale, long term (e.g. climate change, desertification, invasive plants) and in some instances fairly rapid reduction in habitat (e.g. large scale infrastructure projects, drying up and shifting of ground water resources, etc.). It should also be remembered that the giraffes show a seasonal migration in the zone giraffe. In reality they therefore need sufficient amounts of habitat in both the rainy season and dry season areas for the population to survive. For example, if a large infrastructure development were to take place in the Dallol that occupies much of that region, this might lead to catastrophic mortality in the zone giraffe during the dry season, and the carrying capacity of the zone giraffe would in effect be reduced by much more than predicted purely based on the total surface area of the zone giraffe affected. Habitat loss that largely takes place in either the Kouré or the Dallol may therefore almost have a double effect.

Changes in gradual short term habitat loss model parameters

Carrying capacity:

- a: 4% habitat loss per year, during 20 years, in both zone giraffe and the expansion zone (for long term large scale effects, e.g. climate change)
- b: a sudden drop in the carrying capacity of the zone giraffe from 300 to 100 individuals after 10 years (e.g. as may be the case with a large infrastructure development, especially if this happens entirely in either the Kouré or the Dallol so that seasonal migration is compromised)
- c: scenario a but without dispersal (only zone giraffe)
- d: scenario b but without dispersal (only zone giraffe)

Results:

- a: Mean probability of extinction of the metapopulation = 16%
- b: Mean probability of extinction of the metapopulation = 7%
- c: Mean probability of extinction of the zone giraffe = 20%
- d: Mean probability of extinction of the zone giraffe = 19%

Conclusions:

- Although in the short term the mitigation of the effects of maximum severity catastrophes appears more urgent, a gradual but long term decrease in habitat and/or a sudden but very large decrease in habitat (especially one that compromises the seasonal movements of the population) can significantly reduce the survival chances of the metapopulation
- The existence of the expansion zone is important especially for these types of habitat loss scenarios. The probability of extinction is higher if giraffes are limited to the zone giraffe only.

Third population

Changes to the input parameters of the “Mitigated Catastrophe Habitat loss 2.5% for 10 years” model

Mortality rates:

- As in the adapted baseline model for the zone giraffe (meaning that mortality does not increase when the population reaches carrying capacity as is the case in the status quo model for the zone giraffe).
If a third population is going to be created through translocation, this should be done in a region where poaching and other human activities with possible negative effects on the giraffes are under control. Therefore the lower mortality rates of the zone giraffe were used for the third population, rather than the higher rates of the expansion zone.

Catastrophes:

- a: catastrophes as in the “status quo” model
 - b: catastrophes as in the “status quo mitigated catastrophe” model
- with the following changes:

- Frequencies and severities were left unchanged. Ecological catastrophes were entered as global (when a catastrophe such as drought occurs, it occurs in all three populations at the same time), disease catastrophes were entered as local in all three populations (meaning they happen independently in all three populations) and the political catastrophe was entered as “local” for the new population, meaning that when a political catastrophe occurs in the zone giraffe+the expansion zone, it does not necessarily occur in the new population.

Carrying capacity of the new population: 500

(with no habitat loss modelled over the years (ideally, you would translocate into an area where human threats are under control)).

Translocation: checked the box in the “special options” in Vortex such that individuals harvested from populations automatically get translocated into the last population (i.e. in our case the new) population. Survival during translocation was set at 90%.

Only the zone giraffe will be harvested, meaning that the individuals for translocation will be removed from the zone giraffe. Conditions are most favourable in this region and it is safe to assume that more information will be available on individuals in this location.

Harvest:

- First year of harvest: Year 5 (so the zone giraffe population has the chance to grow a bit more)
- Last year of harvest: Year 23
- Interval between harvests: 3 years

There will therefore be 7 translocations, in year 5, 8, 11, 14, 17, 20 and 23.

- Individuals harvested at each harvest event: 1 adult female, 1 age 4 female, 1 age 3 female, 1 adult male, 1 age 5 male

Results:

- More modelling (in cooperation with giraffe and translocation specialists) is necessary to test the relative efficiency of various alternative translocation scenarios (e.g. frequent small translocations versus a few larger ones, age and sex composition of the translocated individuals, different carrying capacities of the area of the new population etc). We would need to search for an approach that does not increase the probability of extinction of the population in the zone giraffe, while at the same time creating a new population with a close to 0 probability of extinction – and this is not yet entirely the case in this particular scenario (Table 16). However, for this report we wished to test in first instance, if the creation of a third population (in addition to the zone giraffe and the expansion zone) holds benefits for the viability of the Niger giraffe population as a whole.
- Figure 12 and Table 16 show that, if catastrophes are not mitigated (in order words, if no action is taken to mitigate the effects of the worst catastrophes, or if the actions taken come too late or do not have the desired effect) a third population relatively decreases the probability of extinction of the metapopulation. Although the probability of extinction of each of the subpopulations is high, the probability of extinction of the total population (the metapopulation) is low. A third population would therefore help provide a safety barrier against high severity catastrophes.
- Furthermore, as is evident in Figure 13, even if the effects of the highest intensity catastrophes are mitigated (in which case the effect of a third population on the probability of extinction of the metapopulation is, relatively speaking, small), a third population does allow for a larger total population to be maintained.

Conclusion:

- Creating a third population provides extra safety against non-mitigated, or unsuccessfully mitigated, catastrophes of highest severity and allows for a larger total population to be maintained.

Table 17: Selected results for the “Third population” scenarios with a mild, short term continued habitat loss in the zone giraffe and expansion zone, and with and without mitigation of the effects of the highest severity catastrophes. Stoch r = mean stochastic growth rate experienced in the

simulations; PE(%) = Probability of extinction (in %); Nextant = mean population size of the extant populations at the end of the simulation (\pm standard deviation SD); GD(%) = mean gene diversity (expected heterozygosity) in % remaining in the extant populations (\pm standard deviation SD)

Scenario	Population	Stoch r	PE(%)	N extant	GD (%)
3Pops Mit cat Habitat loss 2.5%10yrs	Zone giraffe	0.027 ± 0.182	3.0	180 ± 57	93.2 ± 3.9
	Expansion zone	0.025 ± 0.221	6.6	229 ± 171	93.0 ± 4.5
	New Population	0.050 ± 0.201	5.4	363 ± 149	89.3 ± 7.0
	Metapopulation	0.033 ± 0.138	0.4	735 ± 180	95.2 ± 3.0
3Pops Non Mit cat Habitat loss 2.5%10yrs	Zone giraffe	0.019 ± 0.256	23.6	159 ± 75	89.5 ± 9.6
	Expansion zone	0.019 ± 0.281	34.8	165 ± 158	90.5 ± 6.6
	New Population	0.042 ± 0.263	33.4	290 ± 183	84.9 ± 11.6
	Metapopulation	0.023 ± 0.191	0.09	463 ± 293	91.3 ± 7.0

Figure 12: Probability of extinction of the metapopulation for various scenarios testing the effects of catastrophe mitigation and a third giraffe population created through the translocation of individuals from the zone giraffe into a new, well managed area. Dark blue = “status quo” (only zone giraffe and expansion zone); Green = “Status quo mitigated catastrophes” (only zone giraffe and expansion zone); Light blue = “Mitigated catastrophes with a 2.5% yearly loss of habitat for 10 yrs in the zone giraffe and expansion zone, and a third giraffe population”; Red = “Mitigated catastrophes with a 2.5% yearly loss of habitat for 5 years in the zone giraffe and for 10 yrs in the expansion zone, , and a third giraffe population”; Pink = “Mitigated catastrophes with a 4% yearly loss of habitat for 10 yrs in the zone giraffe and expansion zone, and a third giraffe population”.

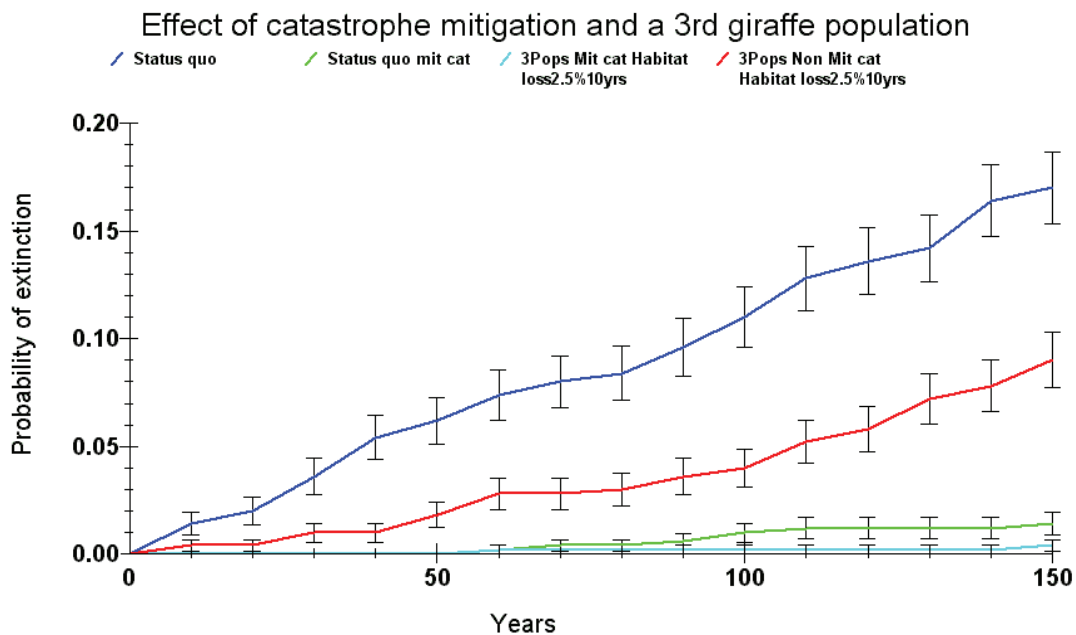
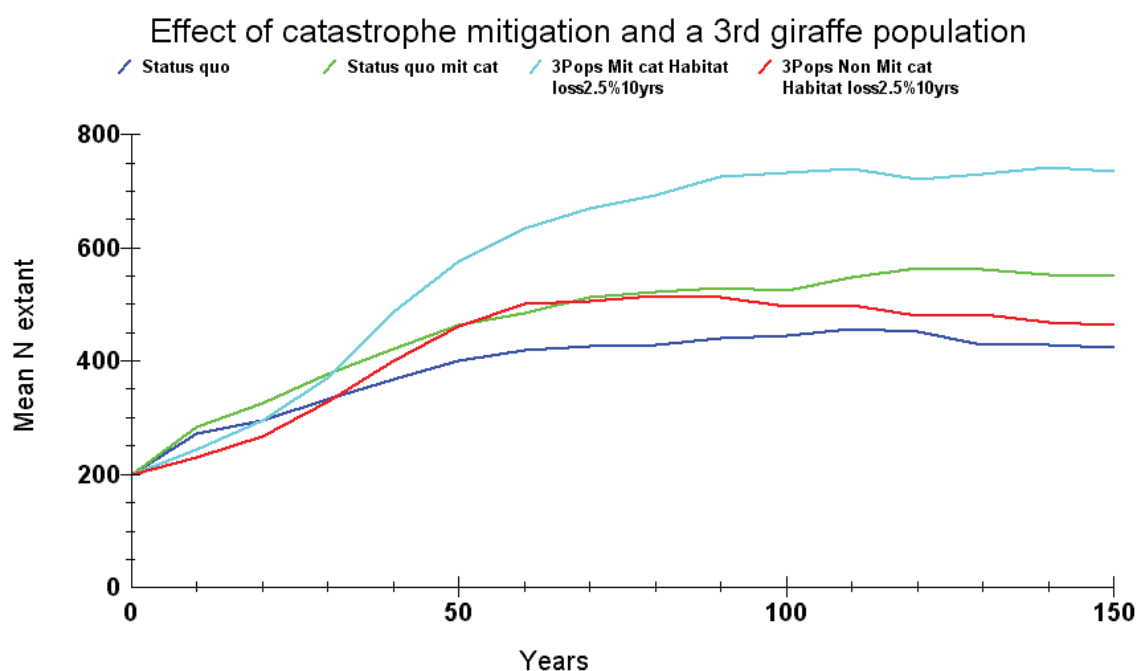


Figure 13: Mean size of extant populations of the metapopulation for various scenarios testing the effects of catastrophe mitigation and a third giraffe population created through the translocation of individuals from the zone giraffe into a new, well managed area. Dark blue = “status quo” (only zone giraffe and expansion zone); Green = “Status quo mitigated catastrophes” (only zone giraffe and expansion zone); Light blue = “Mitigated catastrophes with a 2.5% yearly loss of habitat for 10 yrs in the zone giraffe and expansion zone, and a third giraffe population”; Red = “Mitigated catastrophes with a 2.5% yearly loss of habitat for 5 years in the zone giraffe and for 10 yrs in the expansion zone, , and a third giraffe population”; Pink = “Mitigated catastrophes with a 4% yearly loss of habitat for 10 yrs in the zone giraffe and expansion zone, and a third giraffe population”.



Results in view of criteria for viability:

CRITERIA FOR VIABILITY

As stated in the introduction, the overall goal for the population (and therefore the definition of “viable” in the context of this model) as determined during the PHVA was:

- **A close to 0% probability of extinction for the total population of West-African or Nigerian giraffes.**
- **Positive intrinsic growth rate of the population**
- In the short term, the population develops such that the **subspecies moves from being Endangered** (Fennessy and Brown, 2008) **to Vulnerable** according to the 2001(version 3.1) Categories and Criteria of the IUCN Red List of Threatened Species (IUCN, 2001). In order to achieve this we need:
 - o **Criteria A: A less than 30% decline in population projected over the next three generations (about 36 years).**
 - o **AND, Criteria B:** The area of occurrence is already larger than 5000km² (range is almost 15.000 km² (Boulet et al., 2005) and the area of occupancy is already larger than 500km² (zone de Kouré alone is already 800km² (Boulet et al., 2005). Therefore the population already does not qualify for either critically endangered or endangered solely based on criteria B.

- **AND**, Criteria C: Number of mature individuals >2500, which is not true for any of the scenarios. If it is lower than 2500, in order not to qualify for either critically endangered or endangered, the population should **not show a continuing decline, or if it does, the number of mature individuals in each subpopulation should be higher than 250 AND the % of individuals in one subpopulation should be less than 90%, AND**, there should be **no extreme fluctuations** in the number of mature individuals
- **AND**, Criteria D: **number of mature individuals > 250**. If we assume that about 50-60% of the population are adults (this was obtained in most of the model scenarios), this would translate into a **total population size of about 420-500**.
- **AND**, Criteria E: **the probability of extinction in the wild is less than 20% in 5 generations (or about 60 years) (However, during the PHVA it was decided that a close to zero % probability of extinction over 150 years was desired for the giraffe population)**.

HOW DID THE MODELS “PERFORM” IN LIGHT OF THESE CRITERIA?

- Population trends over 2 or 3 generations: The results for the mean stochastic growth rate are hard to interpret due to the high stochasticity in the model. Every single run has positive and negative growth periods and some runs will have an overall positive growth rate while others have an overall negative one. This high variation is illustrated by the very large standard deviations on the mean stochastic growth rate. Those scenarios with a high probability of extinction naturally had a high number of iterations with a largely negative growth period. Looking at the mean population size over time for those populations that did not go extinct (Figures 6, 10 and 13), none showed a steady negative trend. Nevertheless, because the stochastic growth rate results are so difficult to interpret, it is hard to make assessments in terms of declines over 2 or 3 generations. We will therefore concentrate on the results for the probability of extinction, the number of mature individuals and the % of the population that occurs in a single subpopulation.
- Probability of extinction: In order to obtain a probability of extinction of the total population that is close to zero, the following is essential:
 - The highest severity catastrophes must be mitigated so that at the worst only medium effects on survival take place in the field.
 - In the zone giraffe, the careful monitoring of the giraffe population, as well as the conservation and development activities should be maintained such that a stable, healthy core population with low mortality rates can be maintained. With mortality rates as high as modelled for the expansion zone, even a large population of 1000 individuals would still have a very high risk of extinction.
 - A third population should be created (in addition to the zone giraffe and the expansion zone) which will provide extra insurance against high severity catastrophes should these not be detected in time, or if intervention does not (or cannot) take place or is unsuccessful.
 - Relatively small and gradual habitat loss (2.5-4% per year) should be largely stopped within about 10 years (but of course, the sooner the better), larger scale habitat loss should be stopped as soon as possible, and very large scale infrastructure developments should be avoided, especially in the zone giraffe.

The existence of the expansion zone is important especially for habitat loss scenarios. The probability of extinction is higher if giraffes are limited to the zone giraffe only.

- Number of mature individuals: In order to be able to maintain a total population with an average of at least 250 mature individuals (or about 420 to 500 total individuals) in the short term, it is important that:
 - o The effects of high severity catastrophes are mitigated
 - o Giraffes can disperse into the expansion zone when the carrying capacity of the zone giraffe is reached
 - o A third population is created (especially if it is to be expected that some degree of habitat loss, even gradual and small scale, will continue in the zone giraffe and the expansion zone, even if only in the relatively short term (e.g. about 10 years)).
- Number of mature individuals per subpopulation and the % of the population in a single subpopulation: The dispersal rate between the zone giraffe and the expansion zone is in reality likely to be so high that they would, in IUCN terms, categorise as one population. This would mean that the total subspecies occurs in only one population. The creation of a “third” population is therefore important to achieve that less than 90% of the total population lives in one subpopulation. The “third” population should ideally on average contain at least 250 mature individuals (or at least about 500 total individuals).

Summary of Recommendations:

1. Develop monitoring systems such that high severity catastrophes can be detected early and preventively develop intervention plans to mitigate the effects of the most likely high severity catastrophes, so they can be put into practice immediately when such catastrophes take place.
2. Maintain the conservation and development actions in the zone giraffe, so that a safe, low mortality core population of giraffes can be maintained at all costs.
3. Ensure that it is possible for giraffes to disperse from the zone giraffe into the expansion zone and ensure, when necessary through conservation and development actions, that the mortality in the expansion zone is brought within, or stays within, the range used in this model (this implies checking current habitat and human activity conditions in the expansion zone and monitoring the population in the expansion zone from the moment relatively large numbers start to disperse from the zone giraffe into the expansion zone).
4. Establish a third giraffe population as extra insurance against high severity catastrophes and in order to increase the total population size that can eventually be maintained. This should however only be done after careful study to identify the most efficient and safe translocation scenarios (how many animals, of which sex and age classes, how often etc) and methods, and in full consideration of the IUCN guidelines for reintroduction. This region should have a carrying capacity of at least 500, and preferable somewhat more, individuals.
5. A. Carefully monitor the rate of habitat loss, so this can be entered more carefully into the model.
B. Ensure that relatively small and gradual habitat loss (2.5-4% per year) is largely stopped within about 10 years (but of course, the sooner the better). Even if the probability of extinction is not immediately affected with gradual, small scale

habitat loss, it does have an influence on the number of animals that can eventually be maintained in the population.

- C. Try to stop larger scale habitat loss as soon as possible, and avoid very large scale infrastructure developments, especially in the zone giraffe and especially if they occupy a significant portion of either the dry season or rainy season region.
6. Continue and where possible improve the methods/resolution of the monitoring of the giraffe population in the zone giraffe, and later in also in the expansion zone, such that the reliability of the life history values entered into the Vortex model increases. More reliable estimates of sex and age specific mortalities rates would be especially valuable.

References:

- ASGN (Association pour la Sauvegarder des Girafes du Niger) 2008. Protection au Niger du dernier troupeau de girafes d'Afrique de l'Ouest – Rapport 2007. Bioparc Zoo de Doué and South Lakes Wild Animal Park: Doué la Fontaine, France. 9pp.
- Bingaman Lackey, L. 2003. Giraffe studbook 2001 (global data). ISIS/WAZA Studbook Library DVD. International Species Information System (ISIS), Eagan, MN.
- Boulet, H., Niandou, E.H.I., Alou, M., Dulieu, D. and Chardonnet, B. 2005. Giraffes (*Giraffa camelopardalis peralta*) of Niger. Antelope Survey Update 9 : 36-39.
- Brooks, B.W., J. J. O'Grady, A.P. Chapman, M.A. Burgman, H.R. Akcakaya, and R. Frankham. 2000. Predictive accuracy of population viability analysis in conservation biology. *Nature* 404:385-387.
- Ciofolo, I., Le Pendu, Y. and Gosser, A. 2000. Les Girafes du Niger, Dernières Girafes d'Afrique de l'Ouest. *Rev. Ecol. (Terre Vie)* 55 : 117-128.
- Clutton-Brock, T.H., Guinness, F.E. and Albon, S.D. 1982. Red Deer: Behavior and Ecology of Two Sexes. Chicago, IL: Univ. Chicago Press.
- Clutton-Brock, T.H., Major, M. and Guinness, F.E. 1985. Population regulation in male and female red deer. *J. Anim. Ecol.* 54: 831-846.
- Crnokrak, P. and Roff, D.A. 1999. Inbreeding depression in the wild. *Heredity* 83: 260-270.
- Dagg, A.I. 1971. *Giraffa camelopardalis*. *Mammalian Species* 5: 1-8.
- Dagg, A.I. and Foster, J.B. 1976. The giraffe: its biology, behavior, and reproduction. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Damen, M. In press. European Regional Studbook for the giraffe (*Giraffa camelopardalis*) – October 2008. ISIS/WAZA Studbook Library DVD. International Species Information System (ISIS), Eagan, MN.
- Fennessy, J. & Brown, D. 2008. *Giraffa camelopardalis ssp. peralta*. In: IUCN 2008. 2008 IUCN Red List of Threatened Species. <www.iucnredlist.org>.
- Frankham, R. 1995. Inbreeding and extinction: a threshold effect. *Conservation Biology* 9: 792-799.
- Frankham, R. and Ralls, K. 1998. Inbreeding leads to extinction. *Nature* 392: 441-442.

- Frankham, R., Ballou, J.D. and Briscoe, D.A. 2002. Introduction to Conservation Genetics. Cambridge University Press, Cambridge, U.K..
- Hall-Martin, A.J. and Skinner, J.D. 1978. Observations on puberty and pregnancy in female giraffe (*Giraffa camelopardalis*). S. Afr. J. Wildl. Res. 8: 91-94.
- IUCN. 2001. *IUCN Red List Categories and Criteria: Version 3.1*. IUCN Species Survival Commission. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK. ii + 30 pp.
- Lacy, R.C. 1993. Vortex: A computer simulation model for population viability analysis. *Wildlife Research* 20:45-65.
- Lacy, R.C. 2000. Structure of the Vortex simulation model for population viability analysis. *Ecological Bulletins* 48:191-203
- Lacy, R.C., Alaks, G. and Walsh, A. 1996. Hierarchical analysis of inbreeding depression in *Peromyscus polionotus*. *Evolution* 50: 2187-2200.
- Le Pendu, Y. and Ciofolo, I. 1999. The spatial behavior of giraffes in Niger. *J. Trop. Ecol.* 15: 341-353.
- Le Pendu, Y., Ciofolo, I. and Gosser, A. 2000. The social organisation of giraffes in Niger. *Afr. J. Ecol.* 38:78-85.
- Loison, A., Gaillard, J.M., Pélabon, C. and Yoccoz, N.G. 1999. What factors shape sexual size dimorphism in ungulates? *Evol. Ecol. Res.* 1:611-633.
- Miller, P.S. and R.C. Lacy. 2005. Vortex: A Stochastic Simulation of the Extinction Process. Version 9.50 User's Manual. Apple Valley, MN: Conservation Breeding Specialist Group (SSC/IUCN).
- Newby, J., Karimou, A., Boureima, A. & Fennessy, J. 2006. Contribution à l'Elaboration d'une Stratégie de Conservation à Long Terme de la Girafe (*Giraffa camelopardalis peralta*) au Niger. ECOPAS – Parc Regional W.
- Owen-Smith, R.N. 1988. Megaherbivores : the influence of very large body size on ecology/ Cambridge University Press, Cambridge, 369pp.
- Pellew, R.A. 1983. The giraffe and its food resource in the Serengeti. II. Response of the giraffe population to changes in the food supply. *Afr. J. Ecol.* 21 : 269–283.
- PURNKO 1998. Plan directeur d'aménagement de la zone giraffe, document N°2: proposition d'actions à metre en oeuvre.
- Suraud, J.-P and Dovi, O. 2006. The giraffes of Niger are the last in all West Africa. Giraffa – Bi-annual newsletter of the International Giraffe Working Group (IGWG). Volume 1, Issue 1: 8-9.
- Suraud, J.-P and Dovi, O. 2007. Giraffes of Niger – 2006 census. Volume 1, Issue 2: 12-13.

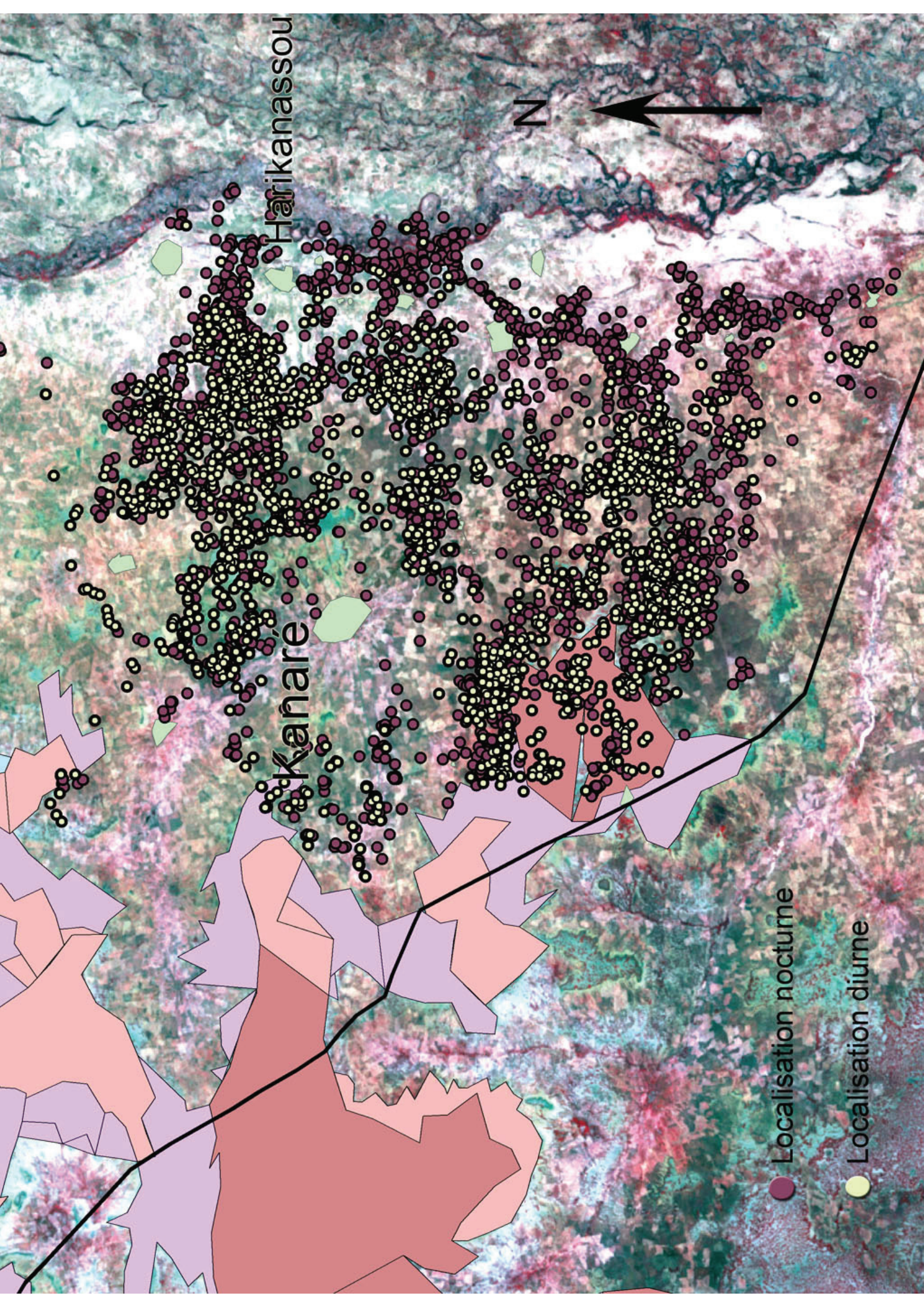
Annexe 2

Carte des observations des troupes de girafes



Annexe 3

Carte des localisations des colliers émetteurs girafes



Annexe 4

Suraud, 2007

Giraffes of Niger, 2007 census and perspective

IUCN – International Giraffe Working Group

Newsletter 2(1): 4-7

Giraffes of Niger, 2007 census and perspectives

Jean-Patrick Suraud

International Giraffe Working Group and ASGN

Introduction

At the beginning of the 20th Century, giraffes were distributed across numerous countries of the Sudano sahelian zone: from Chad to Senegal. In 1996, the 50 last giraffes of West Africa concentrated close to Niamey, the capital of Niger (Ciofolo, 1998). Such a decline from several thousands to a few dozen in less than a century was mostly due to poaching, habitat loss and fragmentation. The giraffe of Niger are genetically unique: a 2006 study showed the last *peralta* subspecies are the giraffes of Niger (Hassanin, 2007). A 2007 study suggests that giraffes are not a unique species with 9 subspecies, but at least 6 species with more sampling to be undertaken (Brown, 2007). According to this study, the giraffe of Niger would represent a single species. Giraffes of Niger live in a non protected area, without natural predators, sharing the habitat with the local people

and their livestock.

The giraffe census

In 2007, the annual Niger giraffe census was financed by Nature & Découverte Foundation, Doue la Fontaine zoo (France), South Lakes Wild Animal Park (Great Britain), ECOPAS and Touroparc (via the CEPA association). The aim of the census was to have a better understanding of the population dynamics by:

1. Counting every individual,
2. Establishing an individual identity card, and,
3. Determining their distribution and population structure (sex and ages classes).

Like in 2005 and 2006, the censuses was undertaken as a collaboration between ASGN (Association for Saving the Giraffes of Niger), The Nigerian environment minister, Association Arborescence, ECOPAS, the local foresters,

Peace Corps volunteers. The mission was supervised by the French biologist Jean-Patrick Suraud, Association Arborescence.

The census took place during the rainy season (July-September) as the population aggregates during this period in the Koure and Fandou plateaus, 60km East of Niamey. As per previous surveys, the method was a total census of the population using photo identification. Every animal has a unique pattern of spots (pelage) allowing individual identification. To assist in this recording and identification, both the left and right profiles of each animal were photographed.

Results and discussion

A total of 164 giraffes were photographed in 2007 (Table 1). The current methodology (individual photographs) appears efficient as 95% of the

Table 1: Results of the 2007 census and categorization of counted individuals

	Adults	Subadults	Young	Calves	Total
Females	59	16	8	3	75*
Males	41	14	5	15	86
Total	100	30	13	18	164

*30 pregnant females.

N.B. Sex of three calves unknown

Giraffes of Niger, 2007 census and perspectives *cont.*

individuals photographed in 2006 were re-photographed in 2007. Considering our knowledge of the population, thanks to the previous censuses, and the 95% 'recapture' rate, the population is estimated to be between 175-180 individuals. The slightly lower value recorded in 2004 (Figure 1) is assumed to be related to an underestimation by the methodology employed – line transects sample count.

The population of Niger's giraffes seems healthy whilst the population appears to be increasing: half of the females giraffes showed signs of being pregnant, and at least 25 new calves and young were born between the 2006 and 2007 census (Table 1). In 2007, we had the first precise data on birth intervals: 24 months. The 2007 census confirmed a remarkable annual rate of growth around 12% between 1996

and 2007 (Figure 1). Until 1996, the population of giraffe in Niger had been slaughtered and almost disappeared. Since then, the population has continued to increase at such a rapid rate, attributed to the absence of predators (in others population, predators such as lions can kill 50 – 70% of the calves, thus having important repercussion on annual growth rates: avg. 3- 5%, the ceasing of poaching, and the sensitization of the population by the ASGN: Association for Saving the Giraffes of Niger.

It appears that the sex of newly born giraffe in the population is male biased. The Trivers–Willard model predicts that in a polygynous species, given certain assumptions, mothers with extra resources should bias investment towards sons by adjusting sex ratio at birth and/or by differential provisioning of sons and daughters (Mark Hewison, 1999). For ungulates, body size

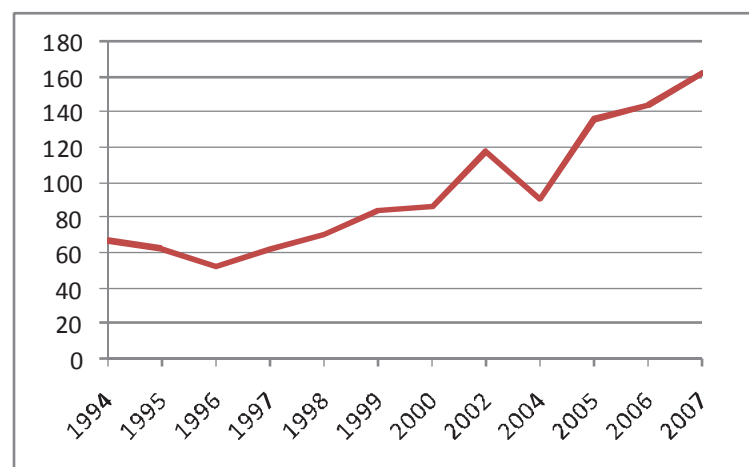
and/or condition and social rank are important parameters. This sex ratio biased could be due to the better than average life condition of the population

although only long-term studies should be able to confirm this hypothesis.

On the other hand, as expected in a mammal population increasing in number, the adult class currently favours greater numbers of females. Current living conditions for giraffes in Niger seem close to ideal: no poaching, no predators, and sufficient amount of resources. However, it is reasonable to assume that this high yearly growth rate will not be maintained over a much longer period of time. Even though the population of giraffe continues to increase quickly, their rainy season habitat, the tiger bush, is decreasing quickly as a result of increasing agriculture. Between 1975 and 2002, agriculture in the giraffe zone rose from 50 to 80% of the area (Nouhou Abdou, 2005).

With respect to the populations movements and range, adequate census and collection of GPS data has been undertaken since 2002. As the censuses methods evolved, and the number of positions have increased, it appears that the giraffes home range during the rainy season increases across the Koure plateaus. Indeed, 2002 and 2003 data indicates that the giraffes were present almost only in the north plateau, whilst in 2006 and 2007, the giraffes were present across both the

Fig 1: Population growth of the giraffes of Niger population since 1994 to 2007



Giraffes of Niger, 2007 census and perspectives

cont.

north and south plateaus (Figure 2). Long-term surveys of the giraffe's home range will allow us to have more precise data to better support their needs and subsequent management.

The critical population size to escape the endangered status, following IUCN Red List Assessment criteria, should be at least 400 individuals. We are still far from this number. Several studies such as the analysis of the carrying capacity, long-term surveys of the population dynamics, assessment of home range, evaluation of human-giraffes conflicts, and the undertaking of a Population and Habitat Viability Analysis (PHVA) process, will allow us to propose an effective management

plan and strategy for the long-term conservation and management of the Niger giraffe and its habitats.

Perspectives

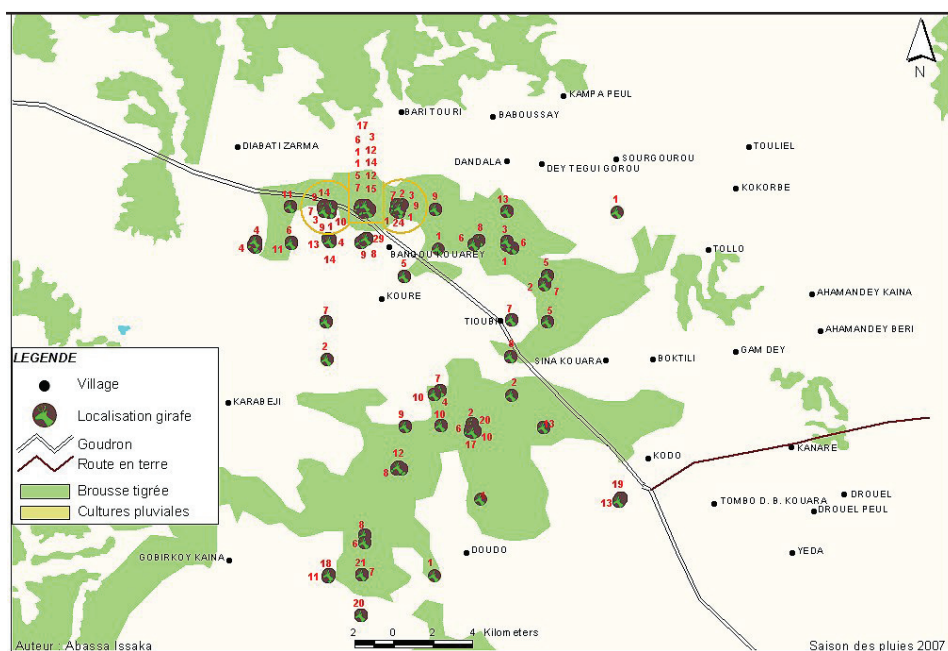
A long-term study of the giraffes in Niger and its habitat began in 2007 with, in particular, two PhD students working on this unique population.

Mr Boube Morou, a Niger student, laboratory Garba Moukaïla department of biology University Abdou Moumouni, Niamey, financed by Unesco MAB, is finishing his PhD on the giraffe habitat. Mr Jean-Patrick Suraud began a PhD to better understand the determining factors of the population dynamics and home range of this giraffe population Through

the University Lyon, France, team Evolutionary Ecology of Populations, lab, Biometry and Evolutionary Biology. Mr Suraud's PhD is financed by the Prince Albert II Foundation, and supported by Cerza and CEPA.

These two PhDs are complementary with Mr Suraud assessing the species current home range, whilst Mr Morou is mapping and characterizing the species habitat. To highlight one aspect of integration, Mr Morou is assessing the diet of giraffes through direct observations and analysis of faecal samples (quantitative approach), whilst Mr Suraud is testing the quality of their diet through chemical analyses (tannins, alkaloids, fibre, water quantity etc.), Seasonal use and quality of forage in relation with changes in seasons is probably one of the major factors influencing the giraffe's home range (Fennessy, 2003).

Fig 2: Range map of the giraffes in the Koure plateau during the 2007 census



Giraffes of Niger, 2007 census and perspectives *cont.*

reproduction seasonality and sexual dimorphism imply that male's home ranges are bigger than the female's home ranges.

The study of the giraffe's home range is essential in term of conservation of the giraffes and its habitat in Niger. How can we effectively conserve this unique population without identifying migrations routes and forage habitats? This work follows on from an initial study of Niger's giraffe's home range undertaken at the end of the 1990's by Isabelle Ciofolo and Yvonick Le Pendu. Since this study, the giraffes habitat continues to disappear quickly because of the uncontrolled timber and fuel wood harvesting (due to its proximity to the capital, Niamey) and the increase of agriculture and pastoralism. The destruction of the habitat has repercussions on giraffe movements, with individuals already exploring new areas. In September 2007, two giraffes were photographed in Tilabéry (300km to the west of the giraffe zone) region where no giraffe had been observed in more than 20 years. Sadly, in October 2007, two giraffes ventured into Nigeria, and at least one was immediately killed by the poachers. It is very likely that giraffes have accelerated their prospecting, in search of new habitats. It is not without consequences on the survival of the population, and not unlikely that the current populations may

soon split into several populations.

Other complementary studies, financed by the Prince Albert II de Monaco Foundation, are about to begin which will enable us to have a better understanding of human-giraffe conflict in the region. In particular, we will try to obtain an overview of the amounts of wood cut in the region. Many legal and illegal wood markets are present in the giraffe zone, and currently we have no idea about the quantity of wood sold every month/year, and we ignore how many people are supported by the wood cut. This information will be critical to find alternatives solution to the degradation of the habitat. To complete this study, we are working with Professors of Niamey University, to determine the possibilities of regeneration of the habitat, in particular the tiger bush.

Conclusion

This long-term research program will allow us to have a better understanding of the giraffe's habitat, its population dynamics, home range, activity behaviour, etc. Monthly surveys of the population (location, herd dynamics, births and deaths) will provide significant data, including identifying birth peaks, which in turn could replace the need for an annual census. However, the annual census is the only

period during the year when all the actors involved in giraffe conservation work together. Additionally, the annual presentation of the photo identification album to the environment Minister is an important event: in 2007, several TV channels, international radios and many journalists were present and communicated this and the specificities of this unique giraffe's population to a broader audience which is important awareness raising.

This ecological data will be integrated into a PHVA process to be attended by various international experts (IUCN CBSG, IGWG, CIRAD, etc). The PHVA process is a powerful management tool which tries to predict the evolution of the population over time by looking at past knowledge of the population, species and the current and perceived threats. This tool and the other scientific studies will be important components in drafting a national strategy for the conservation of giraffes in Niger which will hopefully be undertaken in 2009.

(see refs on page 19)

Contact:

Jean-Patrick Suraud

Email: girafesduniger@gmail.com

Annexe 5

Suraud, 2008

200 giraffes in Niger!

IUCN – International Giraffe Working Group
Newsletter 3(1): 32-33

2008 giraffes in Niger!

Jean-Patrick Suraud

International Giraffe Working Group and ASGN

In less than a century, giraffes in West Africa existed in their several thousands distributed across most of the countries in the region - Chad to Senegal, but were dramatically reduced to 50 individuals in 1996 centred close to Niamey, the capital of Niger. Such a decline was mostly a result of poaching, habitat loss and habitat fragmentation. In 2007, Brown et al., published a genetic study which highlighted the last giraffes of West Africa are the unique representative of the *peralta* (sub) species. Among the 6 giraffes (sub) species identified in the Brown et al. study, the *peralta* are the most endangered. This unique population have the particularity of living in a non protected area, without predators, and sharing the habitat with the local people and their livestock. With such a low number of individuals, it was important to undertake ecological monitoring of the population including annual census, population dynamics, home range, genetics etc.

The 2008 giraffe census

The aim of the census is to have a better understanding of the population dynamics of giraffes in Niger by:

1. Counting every individual
2. Realising an individual identity card for each giraffe
3. Determining the sex and ages class

distribution of the population .

Like the previous years, the censuses result from a collaboration between ASGN (Association for Saving the Giraffes of Niger), The Niger Environment Minister, Ecopas, Peace Corps volunteers and Canadian students. The mission was supervised by the French conservationist Jean-Patrick Suraud, ASGN scientific advisor. The census took place during the rainy season

Results

(July-September) as the population aggre-

gates during this period in the Koure and Fandou plateaus, 60km east of Niamey.

Since 2005, the method is a total census of the population using photo identification. Every animal has a unique spot pattern allowing easy and recognizable individual identification using the right and left profiles of each.

Discussion

The individual identification allows us compare the demographic data of the census results. The analysis of the results

Table 1: Results of the 2008 census and dynamics of each counted individual

	Adult	Sub adult	Young	Calf	Total
Males	45	13	23	8	89
Females	68 *	11	21	4	104
Total	113	24	44	12	193
					193

*30 females appeared pregnant

- 193 individuals were photographed and identified in 2008
 - 34 calves at least were born between 2007 and 2008 census
- 96% of the individuals photographed in 2007 were photographed (identified) again in 2008.

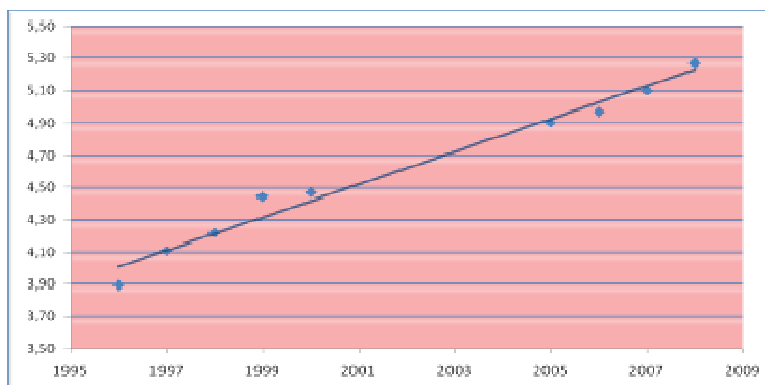


Figure 1: Log of the number of giraffes since 1996, considering the censuses realised by photo identification.

2008 giraffes in Niger!

cont.

since 2005 show a very important female survival rate (>90%) and an amazing recapture rate - approximately 97%. These results indicate that the census was essentially a total count. Based on the 2008 census, the population is still growing in number with an significant growth rate of approximately 12%. Fig 1 shows that since 1996, the population has increased exponentially. The Niger giraffes appear to be typically recovering after the large scale poaching which reduced their numbers so dramatically: high growth rate with large proportion of young.

Many others aspects of the demography of this unique population like survival rate per class of ages, comparison of demographic and census growth rate, generation time or allometry among the ungulates will be written up in due course. Threats to this unique population are ever present and increasing: destruction of the habitat through new cultivated lands, uncontrolled wood cutting and human-giraffe conflict. As per the latter, two giraffe at least were poached between 2008 and 2009. Moreover, the population seems close to saturation with respect to habitat availability. Indeed, exploration of the giraffe into new areas has increased and individuals are often reported very far from their usual range. As a consequence

of the habitat saturation, the long term survey realized by ASGN proves that since the end of 2008 a sub population of giraffe was created in Fandou region. Fandou is a zone were a small part of the population, around 20 individuals, used to stay during the rainy season (since the end of the 90's), and come back with the rest of the remaining population in the Dallol's during the dry season. However, since 2008, these giraffes remain all year in the Fandou region as there is good acacia habitat during the important dry season. This sub population does have have contact with the principal population with some individuals migrating between the areas during rainy season at least.

The critical population size to 'escape' the endangered status, following IUCN criteria, should be at least 400 individuals. We are still far from this number. Considering the increasing threats on the Niger population we expect that the 12% annual growth rate will not continue much longer. If nothing is done soon for the protection of the giraffe's habitat, the population will never reach the 400 individuals, and as such the likelihood of the last giraffe being gone from this landscape is still real!

Perspectives

In September 2007 ASGN began an important monitoring program of giraffes in Ni-

ger, with already very interesting results on population dynamics, home range, food quality, etc. Despite all its efforts ASGN scientific component has very important financial difficulties, in particular to finance salaries. If no solution is found very quickly, all the scientific program will be give up. This would be very dangerous for this the giraffes of Niger, as we still need more ecologic data to build an appropriate management plan of the increasing giraffes zone.

Conclusion

The giraffe population of Niger continues to grow in number at a remarkable annual growth rate of 12%. Although the situation for the giraffe at the moment is tolerable, many factors indicate that giraffe's population is close to reaching potential carrying capacity. We are at a key period for the population recovery. ASGN and its partners will continue its work to conserve the most emblematic mega fauna of Niger, but without an appropriate management plan of the giraffe zone in collaboration with the community and other key stakeholders, all its efforts may be in vain.

Contact:

Jean-Patrick Suraud

Email: girafesduniger@gmail.com

Annexe 6

Suraud, 2009

CEPA magazine 19:14-19

DOSSIER

Les dernières girafes de l'Afrique de l'Ouest, une population en sursis

Jean-Patrick Suraud



Niger

Les dernières girafes d'Afrique de l'Ouest *Giraffa camelopardalis peralta* vivent aujourd'hui à une soixantaine de kilomètres à l'est de Niamey, la capitale du Niger. Cette population de girafes est exceptionnelle car elle vit dans une zone non protégée et partage son habitat avec les hommes dans une des régions les plus peuplées.

L'habitat de la girafe, la brousse tigrée, a subi une forte régression au cours des trente dernières années

Au Niger, à la fin des années 1990, une « zone girafe » a été définie. Les limites de la zone ont été créées à partir de l'observation des migrations des girafes en 1994-1995. La zone girafe appartient à la zone de transition de la réserve internationale de Biosphère du W.

Aujourd'hui, la survie des girafes du Niger est menacée par la compétition (directe, indirecte ou latente) pour les ressources qui engendre des conflits avec les hommes et leur bétail. L'habitat de la girafe, notamment la brousse tigrée, a subi une forte régression au cours des trente dernières années, particulièrement pour les formations du plateau de Kouré. La brousse tigrée est menacée en premier lieu par la coupe de bois et ensuite et de manière croissante, par les enclaves agricoles. L'état de dégradation actuel de la brousse tigrée est probablement à l'origine de



© J.P. Suraud



▲ Localisation de la zone girafe (en rouge) délimitée au Niger d'après les migrations saisonnières.

• The giraffe area (in red) in Niger has been defined according to the seasonal migrations.

▲ La destruction de l'habitat des girafes au Niger est probablement à l'origine de leur mobilité accrue.

• The destruction of the habitat of the giraffes in Niger probably explains why they move extensively.



© P. Lavergne

▲ La brousse tigrée, habitat typique de la girafe au Niger.

la mobilité accrue des girafes. La déforestation, la vente du bois et les besoins accrus des populations locales sont les causes de la dégradation de l'habitat des girafes. Le braconnage est toujours une sérieuse menace potentielle. De nos jours, bien que protégées, un petit nombre de girafes continue à être braconné. Il n'est pas exclu que l'accroissement de la population de la girafe et la reconquête de son habitat provoquent une recrudescence du braconnage.

Depuis plus de 10 ans, l'ASGN se bat pour protéger les dernières girafes de l'Afrique de l'Ouest

L'Association pour la sauvegarde des girafes du Niger (ASGN), un programme de développement durable, tente de maintenir l'équilibre fragile population humaine-girafes, malgré une forte compétition pour l'habitat et des conflits

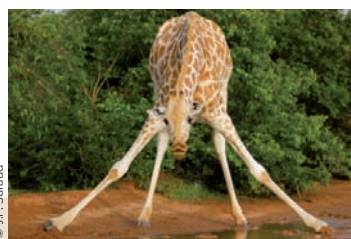
latents : certains paysans accusent les girafes de manger leurs récoltes. Pour l'ASGN, il est important que la girafe soit considérée comme une ressource et non comme une contrainte. La priorité de l'ASGN est donc (1) le développement économique des populations, (2) leur sensibilisation, (3) la protection de la girafe et de son habitat. Dans un des pays les plus pauvres du monde, pas de protection de la nature sans développement économique. Ainsi, l'ASGN a, entre autres, fait bénéficier de nombreux microcrédits aux villageois de toute la zone girafe, construit des puits, mené à bien des expériences de réhabilitation de la brousse. Depuis fin 2007, 6 animateurs, une infirmière et une sage-femme vivent dans la zone girafe, participent à l'amélioration des conditions de vie des villageois et favorisent la conservation de la girafe. Dans le même temps, l'ASGN a développé un ambitieux programme scientifique pour actualiser les données écologiques sur les girafes.

• *The striped bush, the preferred habitat of the giraffes in Niger.*

● ● ●



© J.P. Suraud



© J.P. Suraud



© J.P. Suraud

▲ Dans un pays comme le Niger, il est impossible de conserver les girafes sans le soutien des populations locales et sans un programme de sensibilisation : l'amélioration des conditions de vie des communautés est la priorité de l'ASGN.

La récolte de bois, le développement agricole et le pastoralisme extensif sont les principales menaces qui pèsent sur l'habitat de la girafe.

• *In a country such as Niger, giraffe conservation is impossible without local support and education: so, human development is a priority for ASGN.*

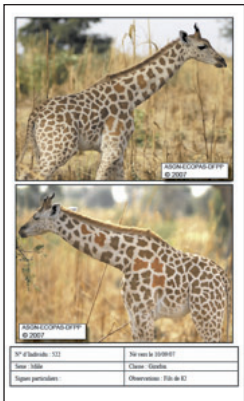
• *Wood harvest, agricultural cropping and expanding pastoralism are the main threats to habitat conservation.*

▲ Afin d'augmenter les chances de survie des girafes du Niger, il est envisagé de créer une sous-population en déplaçant certains individus dans une zone protégée.

• *The translocation of a sub-population within a protected area is a conservation option which is being considered in order to ensure the survival of the Niger's giraffes.*



DOSSIER



Exemple de l'album
 de photo-identification.
 • Photo-identification of a specimen.

La population de girafes croît depuis 1996 de façon exponentielle à un taux annuel de 12 % !

En dehors d'un suivi réalisé par le gouvernement du Niger, les volontaires du *Peace Corps* et le projet PURNKO en 1997-1998, donnant les premiers éléments de l'écologie des girafes du Niger, il n'existait aucune étude à long terme sur cette population. Depuis cette époque, quelques tentatives de recensement ont eu lieu, mais les résultats se sont avérés peu fiables. Pour faire face à ce manque d'informations précises sur la santé de la population de girafes, de 2005 à 2007, le zoo de Doué-la-Fontaine, associé depuis le début à l'ASGN et principal bailleur de fonds de l'association, a décidé en partenariat avec le zoo de *South Lakes Wild Animal Park* (GB) de financer les recensements des girafes.

Le but du recensement est d'avoir une idée précise de la composition de la population en :

1. comptant chaque individu,
2. établissant une carte d'identité individuelle par photo-identification, chaque individu ayant une robe qui lui est propre,
3. déterminant la structure de la population par classe d'âge et par sexe.

La population de girafes croît depuis 1996 de façon exponentielle. Le taux d'accroissement annuel exceptionnel de 12 % s'explique surtout par l'absence de prédateurs et l'arrêt quasi total du braconnage. Lors du dernier recensement en 2008, 193 girafes ont été identifiées.



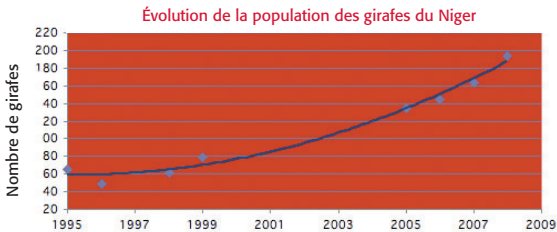
© J.P. Surraud

Grâce à un programme de protection efficace, la population de girafes *peralta* du Niger est passée de 50 à 200 spécimens en 12 ans.

• An efficient conservation programme has increased the peralta giraffe population from Niger from 50 to 200 specimens within 12 years.

Évolution de la population des girafes du Niger de 1994 à 2008 : les données des recensements 2003 et 2004 ne sont pas prises en compte.

• Evolution of giraffe population in Niger since 1994: 2003 and 2004 census not included.





© J.P. Suroud



© P. Lavergne



© P. Lavergne

▲ Le suivi écologique commencé en 2007 comprend l'étude de la dynamique de la population, du domaine vital et une analyse génétique complète.

• An ecological survey initiated in 2007 includes study of the population dynamics, home range and a complete genetic study.

Les études commencées en 2007 s'intéressent à la dynamique de la population et au domaine vital

Afin de prendre les bonnes mesures de conservation de la girafe et son habitat, il est nécessaire de mener à bien certaines études complémentaires. Un important programme de suivi des girafes a donc débuté en 2007. Ce suivi réalisé par l'ASGN en collaboration avec ses partenaires est spécifiquement financé par la Fondation Prince Albert II de Monaco, le parc du CERZA, l'association CEPA et Touroparc.

Les principaux axes de recherche sont :

1. L'étude de la dynamique de la population : suivi des naissances, morts, pic annuel des naissances, intervalle entre deux mises bas.

• • •



© P. Lavergne

▲ L'équipe de l'ASGN en 2009.

• The ASGN team in 2009.



DOSSIER



© J.P. Surand

▲ Cette population unique de girafes vit en dehors de toute réserve, n'a aucun prédateur naturel et cohabite avec les populations locales et leurs troupeaux.

• This unique giraffe population lives outside of protected areas, has no natural predators, and co-habits with local people and their livestock.

2. L'étude du domaine vital.

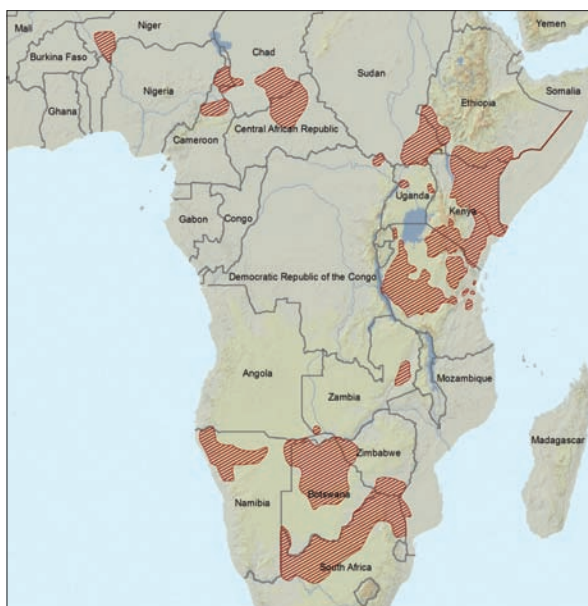
Cette étude est véritablement la clé de la conservation des girafes. En effet, comment protéger efficacement la girafe et son habitat si on ne possède pas de données précises sur son aire de distribution, les zones de prédilection, les couloirs de passage, etc. L'étude du domaine vital des girafes s'effectue aujourd'hui par l'observation directe et le relevé de leur position par GPS. Si on compare les données relevées en 2007-2008 à celles relevées de 1996 à 1998, on constate une mobilité accrue des girafes et des comportements exploratoires chez certains individus de parfois plusieurs centaines de kilomètres. Ceci n'est pas sans conséquence sur la survie des girafes car si elles sont tolérées dans la zone centrale, en revanche elles sont en grave danger si elles quittent la zone, pire si elles quittent le pays. En 2007, sur 2 girafes passées au Nigéria, une au moins a été immédiatement abattue. Cette étude du domaine vital ne donne malheureusement qu'une vision partielle de l'aire de répartition des girafes car l'observation directe ne permet pas de couvrir l'ensemble des zones prospectées par les girafes. Seule la pose de colliers émetteurs sur certains individus permettrait de pallier ce handicap. Malheureusement, faute de moyens financiers, l'ASGN ne peut réaliser cette opération pourtant déterminante. D'autres études sont en cours ou sur le point de démarrer. L'étude de la qualité de l'alimentation (composition chimique : teneur en eau, fibres, tannins, protéines, etc.) permettra de comprendre un facteur essentiel expliquant les migrations des girafes. Une cartographie complète de la

zone girafe et de sa périphérie permettra de visualiser les déplacements des girafes et de faire le lien avec la végétation, la présence des villages.

Enfin, dès 2009, débutera l'étude génétique la plus complète jamais entreprise sur une population de girafes. Il s'agit d'échantillonner, tous ou presque, par biopsie, à l'aide d'un fusil vétérinaire. Afin d'augmenter les chances de survie des girafes du Niger en cas de catastrophe (troubles politiques, reprise du braconnage, épidémie), il est envisagé de créer une sous-population en déplaçant certains individus dans une zone protégée. Il sera alors important de choisir les meilleurs fondateurs et d'éviter la consanguinité. L'étude génétique permettra, entre autres, de mieux choisir ces individus.

Malgré certaines difficultés financières récentes portant sur le programme de suivi des girafes, l'ASGN continue de se battre sur tous les fronts pour qu'hommes et girafes puissent vivre en harmonie, et que nos enfants aient la chance d'observer dans la nature une des espèces les plus emblématiques d'Afrique.

Le Bioparc de Doué-la-Fontaine qui apporte à l'ASGN un soutien financier, technique et moral depuis 2001, en est le représentant européen officiel et démarche d'autres zoos et structures pour augmenter le nombre des partenaires de la conservation des girafes au Niger.



▲ Distribution des girafes aujourd'hui.

• Present range of giraffes.

Abstract

The giraffes of Niger are genetically unique: a 2006 study showed the last of the *peralta* subspecies only reside in Niger. Additionally, a 2007 study strongly suggests that giraffe are not a single species (and nine subspecies) but at least six species. In 1996, the last 50 giraffes of West Africa were restricted to an area close to Niamey, Niger. They are a unique population because they live outside of protected areas, have no natural predators, and co-habit with local people and their livestock. This unique population is increasingly threatened because of continued habitat destruction for fuel wood harvest, agricultural cropping and expanding pastoralism. ASGN Association for Saving the Giraffes of Niger focuses on sustainable human development with the conservation of giraffe, in order to both promote sustainable development and maintain the ecology of the giraffe zone in southern Niger. The ASGN's initial priority of human development recognized that in an underdeveloped country such as Niger, wildlife conservation is impossible without local support and education. As Scientific Manager of the ASGN, I coordinate the scientific program which includes programme development, fundraising, technical support, and regular field data collection. The annual censuses by photo-identification allowed us to show the *peralta* has reached ~200 individuals. In order to propose the appropriate conservation actions an important ecological survey of the population began in 2007. This survey includes study of the population dynamics, home range and a complete genetic study.



Repères

Les girafes du Niger sont génétiquement uniques : une étude de 2006 montre que les dernières représentantes de la sous-espèce *peralta* sont les girafes du Niger (Hassanin 2007). En 2007, une autre étude remet en cause la classification des girafes. Selon Brenneman et Brown, elles ne seraient pas une seule espèce avec 9 sous-espèces mais 6 espèces. Ainsi, les girafes du Niger devraient être élevées au rang d'espèce.

Le nombre et l'aire de répartition des *peralta* ont particulièrement diminué depuis le début du XX^e siècle. Elles se répartissaient alors en Afrique de l'Ouest dans de nombreux pays : du Tchad jusqu'aux côtes du Sénégal.

Le braconnage intensif et la destruction de l'habitat dus à l'expansion de l'agriculture et au déboisement, vont entraîner, dès les années 1950, la disparition massive des girafes de tous les pays d'Afrique de l'Ouest. En 1996, la dernière population de girafes d'Afrique de l'Ouest comptait 50 individus.

♦ SOUTIEN CEPA 2008
3 500 €

♦ PARTENAIRES
Zoos de La Palmyre,
Maubeuge,
Peaugres,
Thoiry
et Touroparc.

Auteur

Jean-Patrick Suraud

Il est le coordinateur scientifique de l'ASGN. Depuis juillet 2007, il réalise sa thèse de doctorat sur la dynamique de la population, le domaine vital et la génétique des girafes du Niger. Il coordonne aussi depuis 2005 le recensement annuel des girafes, auquel chaque année des équipes multidisciplinaires de plus de 20 personnes collaborent. Il totalise un grand nombre d'études et missions de terrain : pose de colliers émetteurs sur des dindons ocellés au Mexique, missions de prospection en Amérique centrale sur l'ara de Buffon, étude des singes hurleurs en Argentine, des chimpanzés au Congo.

